



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# MAZIVA VHODNÁ PRO TAŽENÍ NEREZAVĚJÍCÍ OCELI

SUITABLE LUBRICANTS FOR DEEP DRAWING OF STAINLESS STEEL

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. JAN DOLEŽAL

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

doc. Ing. ZDENĚK LIDMILA, CSc.

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2012/2013

## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

student(ka): Bc. Jan Doležal

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

### **Maziva vhodná pro tažení nerezavějící oceli**

v anglickém jazyce:

### **Suitable lubricants for deep drawing of stainless steel**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Při výrobě tvarově složitých výtažků z nerez ocelí 1.4301 a 1.4316 dochází u fy. ACO při jejich výrobě k zadírání. Cílem bude navrhnout vhodný přípravek pro odzkoušení maziv různých výrobců a vyhodnotit výsledky. Nejlepší testovaná maziva potom budou ověřeny ve výrobním procesu firmy.

Cíle diplomové práce:

Práce bude obsahovat rozbor současného stavu a zhodnocení problémů spojených s mazáním korozivzdorných ocelí. Bude navržen vhodný přípravek na zkoušení maziv. Maziva různých výrobců budou otestována a bude následovat vyhodnocení experimentů.

Seznam odborné literatury:

1. HELLWIG, W. und E. SEMLINGER. Spanlose Fertigung: Stanzen. 5th ed. Braunschweig Wiesbaden: Friedr Vieweg Verlagsgesellschaft mbH, 1994. 289 p. ISBN 3-528-44042-2.
2. FOREJT, Milan. Teorie tváření a nástroje. 1. vyd. Nakladatelství VUT v Brně. Brno: Rekrorát Vysokého učení technického v Brně, 1991. 187 s. ISBN 80-214-0294-6.
3. NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
4. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
5. ROMANOVSKIJ, Viktor Petrovič. Příručka pro lisování za studena. 2. vyd. Praha: SNTL, 1959. 540 s. DT 621.986.
6. FREMUNT, P., J. KREJČÍK a T. PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli (odborná kniha). 1. vyd. Brno: Dům techniky. 1994. 230 s.
7. TIŠNOVSKÝ, Miroslav a Luděk MÁDLE. Hluboké tažení plechu na lisech. 1. vyd. Praha: SNTL, 1990. 200 s. ISBN 80-03-00221-4
8. KOTOUČ, Jiří, et al. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Praha: Vydavatelství CVUT, 1993. 349 s. ISBN 80-01-01003-1.

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 11.10.2012

L.S.

---

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan fakulty

## Abstrakt

DOLEŽAL Jan: Maziva vhodná pro tažení nerezavějící oceli

---

Práce řeší problematiku návrhu a konstrukce zkušebního přípravku na zkoušení maziv pro tažení plechů a experimentálním vyhodnocením vhodnosti jednotlivých druhů maziv pro zadané zkušební podmínky. Jedná se především o nalezení ekologicky nezávadného maziva, které by poskytovalo podobné výsledky jako maziva s obsahem sloučenin chlóru při tažení korozivzdorné austenitické Cr-Ni oceli 1.4301. Z maziv poskytnutých na zkoušení předními výrobci u nás i ve světě, byla jako nejvhodnější ekologicky nezávadná maziva vyhodnocena maziva ATLAS 3374-140 od firmy Quaker Chemical a WISURA ZW 3356 od firmy FUCHS.

**Klíčová slova:** zkušební přípravek, hluboké tažení, maziva, korozivzdorná ocel

## Abstract

DOLEŽAL Jan: Suitable lubricants for deep drawing of stainless steel

---

This thesis solves problems of design and construction of testing equipment for testing lubricants for deep drawing and experimental evaluation of suitability of different types of lubricants for specified tests conditions. Most of all it is about finding environmentally friendly lubricant which would provide similar results as lubricants containing chlorine compounds when drawing a stainless austenitic Cr-Ni steel 1.4301. As for lubricants provided for testing by leading home and abroad manufacturers, the ATLAS 3374-140 from Quaker Chemical and the WISURA ZW 3356 from FUCHS, were evaluated as the most suitable environmentally friendly lubricants.

**Key words:** testing equipment, deep drawing, lubricants, stainless steel

### **Bibliografická citace**

DOLEŽAL, Jan. *Maziva vhodná pro tažení nerezavějící oceli*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2013. 63 s. 4 výkresů. CD. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Zdeněk Lidmila, CSc.

## **Prohlášení**

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce

V Brně dne 20.5.2013

---

## **Poděkování**

Tímto děkuji panu doc. Ing. Zdeňku Lidmilovi, CSc, panu Ing. Kamilu Podanému, Ph.D a panu Bc. Ondřeji Hrenicovi za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce.

## Obsah

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD.....	11
1    HLUBOKÉ TAŽENÍ PLECHŮ.....	12
1.1    Proces tažení .....	13
1.1.1    Tažná síla.....	13
1.1.2    Technologické parametry tažení .....	15
2    TRIBOLOGIE.....	20
2.1    Tření.....	20
2.1.1    Suché tření.....	20
2.1.2    Mezní tření.....	21
2.1.3    Kapalinové tření .....	21
2.1.4    Smíšené tření .....	21
2.2    Geometrie povrchu .....	21
2.3    Opotřebení povrchu .....	23
2.3.1    Adhezivní opotřebení .....	23
2.3.2    Abrazivní opotřebení.....	24
3    MAZIVA.....	25
3.1    Minerální oleje.....	25
3.1.1    Výroba minerálních olejů.....	25
3.1.2    Druhy minerálních olejů.....	26
3.2    Syntetické oleje.....	27
3.2.1    Výroba syntetických olejů.....	28
3.3    Plastická maziva .....	29
3.3.1    Výroba a složení plastických maziv .....	30
3.4    Aditiva .....	31
3.5    Maziva pro tažení plechů.....	32
4    PŘÍPRAVKY PRO ZKOUŠENÍ MAZIV .....	34
4.1    Modelování tření mezi tažnicí a přidržovačem .....	34
4.2    Modelování tření na tažné hraně .....	35
4.3    Modelování vypínání přes tažnou hranu .....	35
4.4    Modelování tření při redukci tloušťky materiálu.....	36
4.5    Modelování tření mezi přidržovačem a tažnou hranou .....	36
5    PŘÍPRAVA EXPERIMENTU.....	37
5.1    Konstrukce zkušebního přípravku .....	37
5.2    Zkoušená maziva .....	40
5.3    Korozivzdorná ocel.....	43
5.3.1    Ocel 1.4301 .....	43
5.3.2    Ocel 1.4404 .....	44
5.4    Zkušební stroj .....	44



6	PROVEDENÍ EXPERIMENTU .....	45
6.1	Vyvození přidržovací síly .....	45
6.2	Výsledky zkoušení pro sníženou přidržovací sílu .....	46
6.3	Výsledky zkoušení pro maximální přidržovací sílu .....	49
6.4	Ohyb přes tažnou hranu .....	52
6.5	Velikost síly tažení na sucho .....	53
7	ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ .....	54
7.1	Zhodnocení zkoušených maziv .....	55
8	ZÁVĚR .....	57
	Seznam použité literatury	
	Seznam symbolů	
	Seznam výkresů	

## ÚVOD [38]

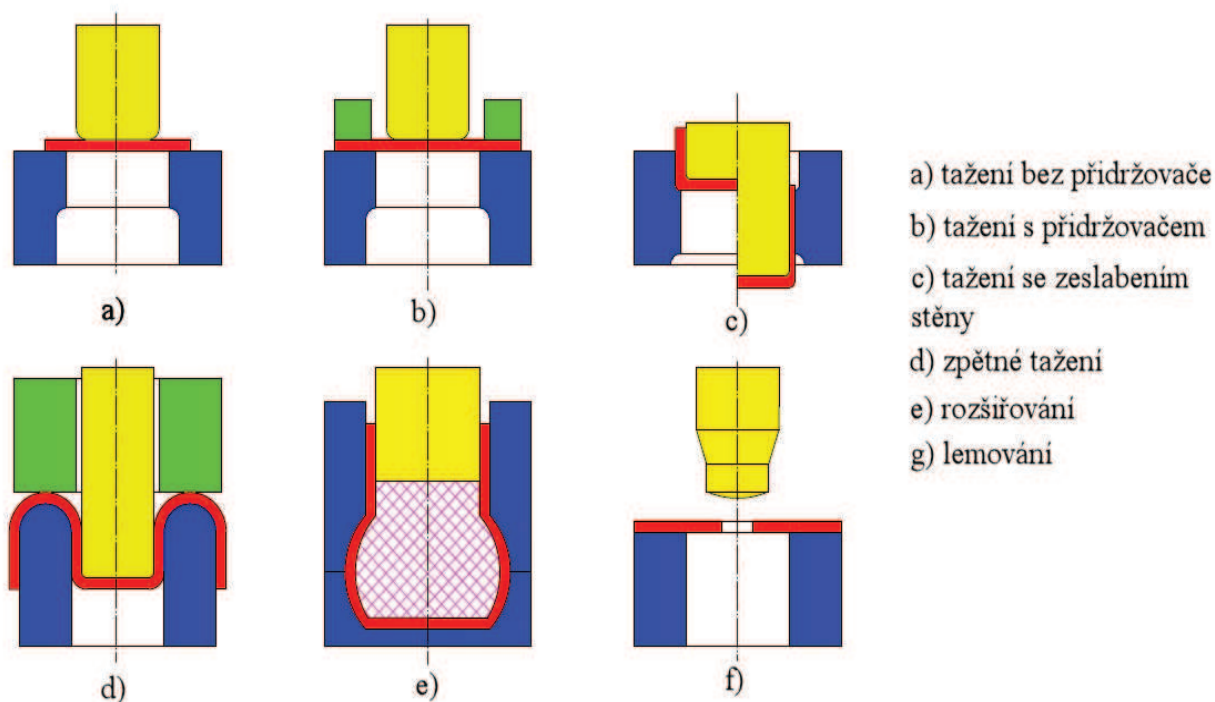
Trvalou snahou strojírenských podniků je výroba součástí s minimálními výrobními náklady. Za velmi produktivní metody jsou považovány objemové i plošné technologie tváření. Nezanedbatelnou část v nákladech na výrobu těmito technologiemi tvoří ztráty způsobené třením a nesprávným mazáním. Tyto ztráty se především projevují v energetické spotřebě na výrobu součástí a v nákladech na opravu či výměnu opotřebovaných strojních součástí. Tyto ztráty se dají zmenšit, a to až o několik desítek procent, vhodnou volbou pracovního maziva.

Požadavky na maziva jsou velmi vysoké. Moderní mazivo musí nejenom umožňovat bezproblémovou výrobu požadované součásti, ale zároveň být ekologicky nezávadné, poskytovat ochranu součásti proti korozi, být stabilní i za zvýšených provozních teplot a řadu dalších požadavků na základě výrobního procesu. Výběr správného maziva také záleží na druhu mazaného materiálu. Současná maziva totiž většinou poskytují dobré výsledky jen pro úzkou oblast výrobních materiálů. Správný výběr maziva je tedy velmi složitý, ale zároveň nutný, aby byl výrobek schopný konkurovat jak svou cenou, tak i kvalitou provedení. Pro výběr nejvhodnějšího maziva pro danou operaci, dané pracovní podmínky a daný materiál je zapotřebí provést alespoň jejich základní testování vhodnosti pro daný druh výroby.

Světový trh s mazivy nabízí velmi širokou nabídku mazacích olejů, plastických maziv, kluzných laků a dalších produktů na zlepšení tribologických vlastností výrobního procesu.

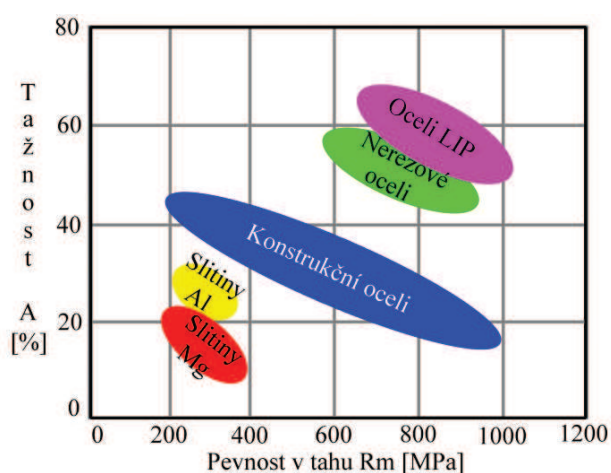
# 1 HLUBOKÉ TAŽENÍ PLECHŮ [1], [3], [7], [9], [14], [19], [40], [42]

Hluboké tažení plechů je proces, kdy z rovinného polotovaru (přístřihu plechu) vytváříme prostorový výrobek - duté těleso. Výsledný výtažek může být zhotoven na jeden nebo více tahů. Počet tahů je ovlivněn především náročností tvaru výtažku, použitým materiálem na daný výrobek a volbou maziva. Mezi hluboké tažení plechů řadíme technologie prostého tažení, tažení se ztenčením stěny, zpětné tažení, žlábkování, protahování, rozšiřování nebo zužování. Toto rozdělení ukazuje Obr.1, kde je dle normy ČSN 20 6001 zobrazeno rozdělení základních rotačně symetrických způsobů tažení plechu.

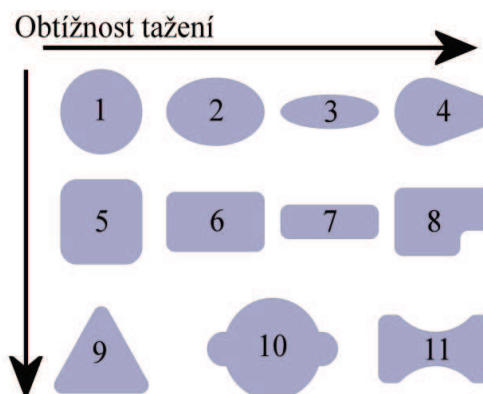


Obrázek 1 Základní způsoby tažení plechu [9]

Metodou hlubokého tažení plechů lze zhotovit výtažky od jednoduchých rotačních tvarů přes hranaté výtažky až po výtažky nesymetrického tvaru. Obtížnost jednotlivých tvarů výtažků je uveden na Obr.2. Obtížnost tažení plechů lze také posuzovat podle tvářeného materiálu. Rozdělení nejčastěji používaných materiálů pro tažení plechů na základě meze



Obrázek 3 Tažnost a pevnost plechů [1]

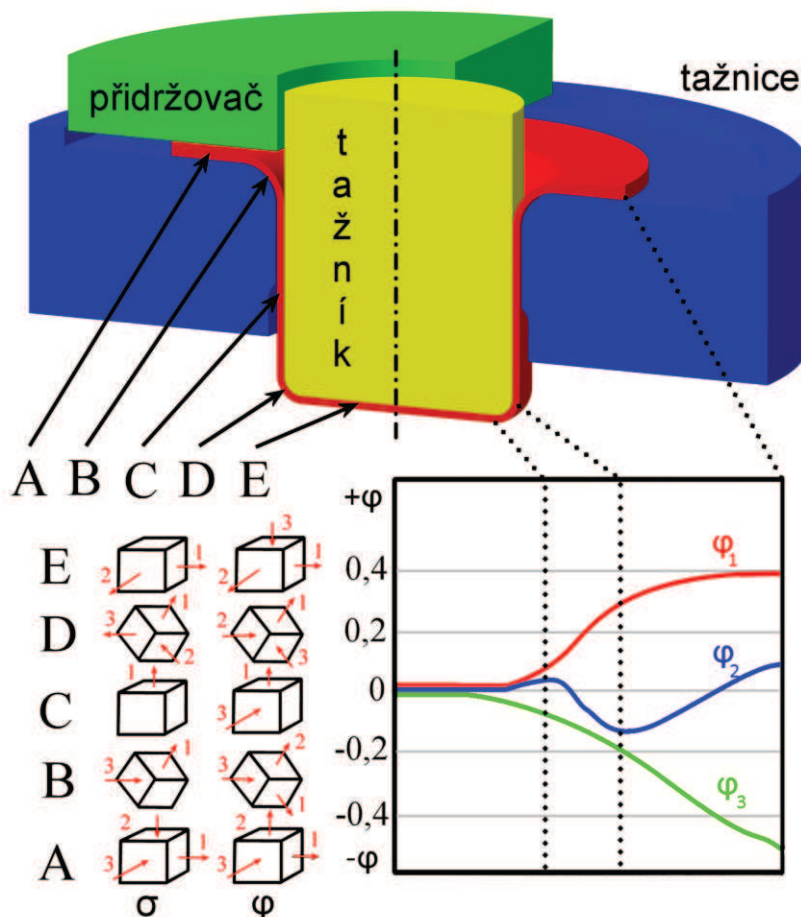


Obrázek 2 Tvarové rozdělení výtažku podle obtížnosti výroby (1 - snadné, 11 - těžké) [7]

pevnosti v tahu a tažnosti ukazuje Obr.3. Proces tažení a zejména tažnou sílu zásadně ovlivňuje volba vhodného maziva pro konkrétní tažné podmínky a konkrétní tažený materiál. Z tohoto důvodu je snaha o co nejmenší tření v tažnici a na přidržovači, naopak na tažníku, kde by nízké tření způsobovalo zeslabování taženého plechu, o co možná největší tření.

### 1.1 Proces tažení [3], [7], [12], [14], [27], [33]

Na Obr.4 je znázorněn princip tažení válcového výtažku s přidržovačem společně s vyznačenými schématy hlavních napětí ( $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$ ) a průběhem logaritmických deformací ( $\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ ). Jak z uvedeného obrázku vyplývá, napětí  $\sigma$  a logaritmická deformace  $\varphi$  se mění v každé části výtažku. V oblasti příruby (A) dochází k intenzivnímu přechovávání ve směru tečného napětí, které může vyvolat zvlnění. Výskytu zvlnění se zabráňuje použitím přidržovače, přičemž dochází k výraznému prodloužení ve směru tažení a zvětšení tloušťky na konci příruby až o 30%. V oblasti poloměru zaoblení tažnice  $R_{te}$  (B) vzniká prostorová napjatost s výrazným tahovým napětím  $\sigma_1$  a malým tlakovým napětím  $\sigma_3$ . Ve válcové části výtažku



Obrázek 4 Tažení válcového výtažku [12]

(C) se prostorová napjatost mění v jednoosou tahovou napjatost a prostorový stav deformace z oblasti příruby se mění na rovinný. V oblasti přechodu válcové části ve dno přes poloměr tažníku  $R_{tu}$  (D) se vyskytuje opět prostorová napjatost, která způsobuje velké prodloužení polotovaru a zároveň jeho ztenčení. V této oblasti může v důsledku ztenčování plechu dojít až k utržení dna. V oblasti dna (E) výtažku nastává rovinný stav napjatosti a prostorový stav deformace. Při jednooperačním tažení můžeme zanedbat deformace ve směru tloušťky plechu, ovšem při víceoperačním tažení je nutno toto zeslabení stěny zahrnout do úvahy.

#### 1.1.1 Tažná síla [3], [7], [12], [14], [27], [40], [42]

Stanovení tažné síly je nedílnou a velice důležitou součástí každého procesu tažení. Velikost tažné síly určuje jednak schopnost výroby součásti, ale je to i důležitý parametr pro volbu výrobního stroje. Tažnou sílu je možno stanovit několika způsoby, všechny tyto způsoby však porovnávají vypočtenou tažnou sílu s maximální silou (rov. 1.1), kterou mohou stěny výtažku přenášet. Tato síla se také nazývá síla na utržení dna a musí být vždy větší než vypočtená síla potřebná pro zhotovení výtažku.

$$F_{přetržení} = \pi \cdot d \cdot s_0 \cdot R_m, \quad (1.1)$$

kde  $d$  je průměr výtažku [mm]  
 $s_0$  je tloušťka plechu [mm]  
 $R_m$  je mez pevnosti v tahu [MPa].

Na určení tažné síly se používají dva přístupy:

- praktický – založený na empirických vztazích
- teoretický – založení na znalosti teorie tváření a stanovení výsledného napětí

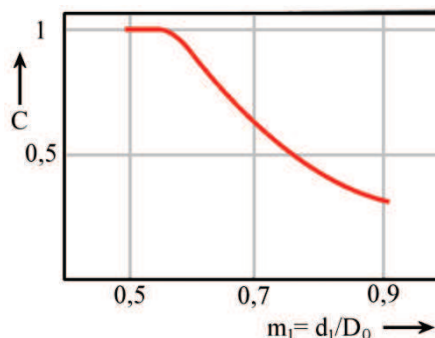
Praktický výpočet vychází tedy z předpokladu, že tažná síla musí být vždy menší než síla na utržení dna. Skutečnou tažnou sílu můžeme tedy získat následujícím přepočtem.

$$F_t = F_{přetržení} \cdot \left( \frac{D_0}{d} - 0,7 \right), \quad (1.2)$$

kde  $D_0$  je průměr přístřihu plechu [mm].

Další způsob empirického výpočtu tažné síly, využívá koeficientu „c“, jehož hodnotu po stanovení součinitele tažení zjistíme odečtením z grafu na Obr.5. Následná síla na zhotovení výtažku se už stanoví poměrně snadno podle rovnice 1.3.

$$F_t = c \cdot F_{přetržení} \quad (1.3)$$



Obrázek 5 Závislost součinitele  $c$  na součiniteli tažení  $m$  [14]

Stanovení tažné síly na základě znalosti teorie tváření vychází z výsledného napětí v plášti výtažku, které tato síla vyvolává. Tažná síla je potom rovna součinu tohoto napětí s průřezovou plochou výtažku. Výsledné napětí je výsledkem interakce tří složek napětí dle rovnice 1.4.

$$\sigma_d = \frac{F_t}{S} = (\sigma_1 + \sigma_{tr} + 2\sigma_o) \cdot e^{\mu\alpha}, \quad (1.4)$$

kde  $S$  je plocha, na kterou působí  $F_t$  [mm<sup>2</sup>]  
 $\sigma_1$  je radiální tahové napětí [MPa]  
 $\sigma_{tr}$  je napětí vyvolané třením [MPa]  
 $\sigma_o$  je napětí v důsledku ohybu [MPa]  
 $\mu$  je součinitel tření [-]  
 $\alpha$  úhel opásání [°].

Pro stanovení výsledného napětí je tedy potřeba znát velikost všech tří složek napětí. Pro výpočet radiálního tahového napětí se vychází z teorie maximálních smykových napětí  $\sigma_1 - \sigma_2 = \xi \cdot \sigma_p$ . Pomocí této rovnice a stanovení okrajových podmínek byl odvozen vztah pro radiální tahové napětí ve tvaru:

$$\sigma_1 = \xi \cdot \sigma_{ps} \cdot \ln \frac{D_0}{D_1}, \quad (1.5)$$

kde  $\xi$  je Lodeho součinitel (pro hluboké tažení  $\xi = 1,1$ ) [-]  
 $\sigma_{ps}$  je stř. hodnota přirozeného přetvárného odporu materiálu [MPa]  
 $D_1$  je okamžitý průměr výtažku [mm]

Napětí  $\sigma_{tr}$  vyvolané v důsledku tření mezi výtažkem a přidržovačem, ale i tření mezi výtažkem a tažnicí vychází z Coulombova zákona ( $F_f = \mu \cdot F_{př}$ ). Za předpokladu rovnoměrného rozložení napětí po celé tloušťce příruby tedy platí  $\pi \cdot D_0 \cdot s_0 \cdot \sigma_{tr} = 2 \cdot \mu \cdot F_{př}$  a odtud napětí:

$$\sigma_{tr} = \frac{2 \cdot \mu \cdot F_{př}}{\pi \cdot D_0 \cdot s_0} \quad (1.6)$$

Poslední složkou je napětí, které vzniká v důsledku ohybu na tažné hraně. Toto napětí je vyvolané prostorovým ohybem vtahované příruby a jejím následným narovnáním. Ohybové napětí lze tedy vyjádřit vztahem:

$$\sigma_0 = \frac{\sigma_{ps}}{2} \cdot \frac{s_0}{2 \cdot R_{te} + s_0}, \quad (1.7)$$

kde  $R_{te}$  je poloměr zaoblení tažné hrany [mm]

Dosažením výše uvedených složek napětí do rovnice pro celkové tahové napětí a při úhlu opásání tažné hrany  $\alpha = \pi/2$ , kdy  $e^{\mu \frac{\pi}{2}} \cong \left(1 + \mu \cdot \frac{\pi}{2}\right) \cong (1 + 1,6 \cdot \mu)$ , dostaneme výsledné napětí ve tvaru:

$$\sigma_d = \sigma_{ps} \cdot \left( \xi \cdot \ln \frac{D_0}{D_1} + \frac{2 \cdot \mu \cdot F_{př}}{\pi \cdot \sigma_{ps} \cdot D \cdot s_0} + \frac{s_0}{2 \cdot R_{te} + s_0} \right) \cdot (1 + 1,6 \cdot \mu) \quad (1.8)$$

Po zjištění velikosti výsledného napětí výtazku, lze jednoduše dopočítat sílu potřebou pro zhotovení výtazku podle rovnice:

$$F_t = \sigma_d \cdot \pi \cdot d_s \cdot s_0, \quad (1.9)$$

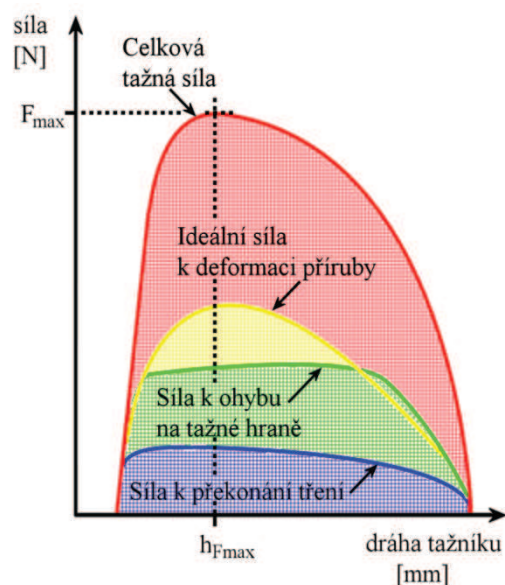
kde  $\sigma_d$  je deformační napětí [MPa]

$d_s$  je střední průměr výtazku [mm]

Protože se výsledné napětí v průběhu tažení mění, mění se v průběhu tažení i velikost tažné síly. Průběh velikosti tažné síly a jejich složek v závislosti na dráze tažníku je zobrazen na Obr.6. Maximální velikosti tažné síly je dosaženo v okamžiku, kdy tažník dosáhne hloubky, která se rovná součtu velikostí zaoblení tažníku, zaoblení tažnice a tloušťky plechu. Tuto hloubku lze vypočítat pomocí:

$$h_{F_{max}} = R_{tu} + R_{te} + s_0, \quad (1.10)$$

kde  $R_{tu}$  je poloměr zaoblení tažníku [mm]



Obrázek 6 Velikost tažné síly a dráhy tažníku [7]

### 1.1.2 Technologické parametry tažení

Před samotnou výrobou výtazku a konstrukci nástroje je nutné znát řadu technologických podkladů. Mezi nejdůležitější z nich patří:

#### a) Určení velikosti výchozího polotovaru [12], [27], [33], [42]

V dnešní době je potřeba zajištění minimálního odpadu materiálu, a proto je správná volba polotovaru velice důležitá. Výchozí polotovar tvoří přístřih plechu, jehož tvar značně ovlivňuje celý proces tažení. Při určování rozměrů přístřihu se vychází ze zákona zachování objemu, neboli objem kovu v přístřihu je stejný jako objem kovu ve výtazku. Polotovar pro válcové výtazky má kruhový tvar, jehož průměr můžeme spočítat dle následující rovnice:

$$D_0 = \sqrt{\frac{4S}{\pi}}, \quad (1.11)$$

kde  $S$  je plocha povrchu výtazku [mm<sup>2</sup>]

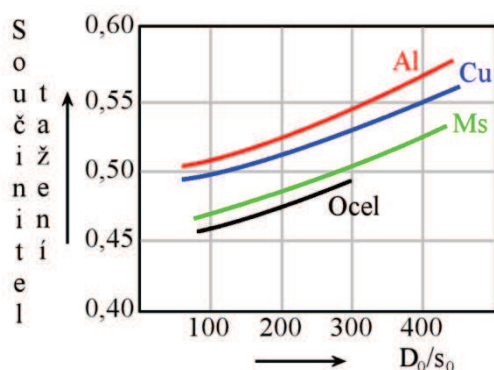
Z důvodu anizotropických vlastností výchozího materiálu, bývají okraje výtazku obvykle různě deformované a nerovné. V návrhu velikosti přístřihu se musí tedy počítat s přidavkem materiálu na odstřihnutí těchto nerovností. Obvykle se přidávají 3% z vypočteného průměru polotovaru pro první tah a pro každý další tah 1% z vypočteného průměru.



## b) Určení počtu tažných operací [7], [12], [14], [27], [33], [42]

Výsledný tvar výtažku z plochého polotovaru lze zhotovit na jednu či více tažných operací. Přičemž je snaha o co nejmenší počet tažných operací, bez nutnosti použití mezioperačního žíhání. Počet operací závisí především na tvaru výtažku (výška a průměr), použitém materiálu a také na tloušťce plechu.

Tažení na jednu operaci se používá u mělkých výtažků s určitým minimálním průměrem. Na složitější výtažky je nutno využít postupného tažení ve více operacích viz. Obr.7. Možnost tažení



Obrázek 8 Mezní hodnoty součinitele tažení [14]

menší než celkový součinitel tažení. Platí tedy, že pokud součinitel tažení  $m_1 \geq m_c$  musí být daný výtažek tažen na více operací, kdy musí platit:

$$m_c \geq m_1 \cdot m_2 \cdot \dots \cdot m_n = \frac{d_1}{D_0} \cdot \frac{d_2}{d_1} \cdot \dots \cdot \frac{d_n}{d_{n-1}} = \frac{d_n}{D_0} \quad (1.12)$$

Doporučené hodnoty pro součinitele tažení v jednotlivých operacích lze nalézt v Tab.1. Tato tabulka udává součinitele tažení v závislosti na poměrné tloušťce polotovaru.

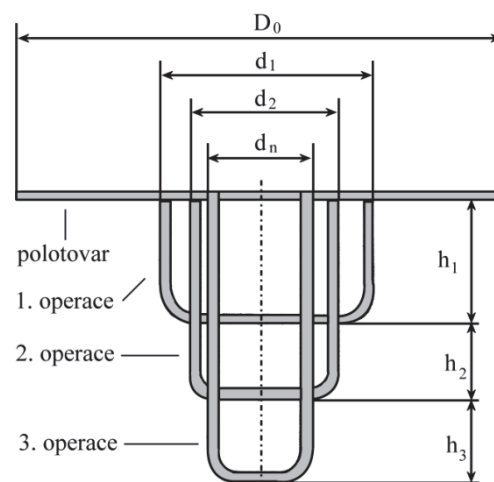
Tab.1 Součinitelé tažení válcovitých součástí bez přírubby [33]

Počet tažných operací	Poměrná tloušťka polotovaru $\frac{s_0}{D_0} \cdot 100[\%]$					
	2-1,5	1,5-1,0	1,0-0,6	0,6-0,3	0,3-0,15	0,15-0,08
$m_1$	0,48-0,50	0,50-0,53	0,53-0,55	0,55-0,58	0,58-0,60	0,60-0,63
$m_2$	0,73-0,75	0,75-0,76	0,76-0,78	0,78-0,79	0,79-0,80	0,80-0,82
$m_3$	0,76-0,78	0,78-0,79	0,79-0,80	0,80-0,81	0,81-0,82	0,82-0,84
$m_4$	0,78-0,80	0,80-0,81	0,81-0,82	0,82-0,83	0,83-0,85	0,85-0,86

Počet operací tedy můžeme jednoduše určit pomocí vztahu:

$$n = 1 + \frac{\ln d - \ln (m_1 \cdot D)}{\ln m'} \quad (1.13)$$

kde  $m'$  je střední součinitel tažení ( $m' = 0,75-0,85$ ) [-]



Obrázek 7 Víceoperační tažení [27]

v jedné operaci se posuzuje podle součinitele tažení  $m = d/D_0$  nebo podle stupně tažení, což je převrácená hodnota součinitele tažení  $K = 1/m = D_0/d$ . Hodnoty celkových součinitelů tažení  $m_c$  pro jednotlivé materiály lze odečíst z grafu na Obr.8. Součin jednotlivých hodnot součinitelů tažení musí být vždy

### c) Určení způsobu tažení [7], [12], [14],[27], [33], [40], [42]

Jedná se o určení, zda je při tažení nutno použít přidržovač nebo lze táhnout bez jeho použití. Přidržovač se používá z důvodu zabránění vzniku vln a přeložek (vrásek) na hotovém výtažku. Tyto defekty vznikají působením tangenciálních napětí při samotném procesu viz. Obr.4. Tažení bez použití přidržovače se používá u nízkých výtažků s větší tloušťkou taženého plechu nebo u výtažků u nichž redukce při tažení nepřesáhne 10 %. Empirický vzorec pro určení nutnosti použití přidržovače tedy počítá s velikostí redukce a poměrnou tloušťkou taženého materiálu. V první tažné operaci musíme použít přidržovač, pokud platí:

$$50 \cdot (z_z - \frac{\sqrt{s_0}}{\sqrt[3]{D_0}}) \geq 100 \cdot \frac{d}{D_0}, \quad (1.14)$$

kde  $z_z$  je materiálová konstanta [-] ( $z_z = 1,9$  pro hlubokotažné plechy,  $z_z = 1,95$  pro mosaz a  $z_z = 2$  pro hliník)

Pro druhý a následující tahy pak platí:

$$m_n = \frac{d_n}{d_{n-1}} < 0,9 \quad (1.15)$$

V případě nutnosti použití přidržovače je přístřih plechu svírán silou  $F_{př}$ , která musí mít takovou velikost, aby zabránila vzniku defektů. Ovšem nesmí být natolik velká, aby znemožnila vtahování plechu do tažnice. Určení velikosti přidržovací síly  $F_{př}$  má vliv jak na výpočet a konstrukci, tak na volbu vhodného stroje. V praxi se většinou velikost síly určuje experimentálně a to tak, aby nedošlo ke vzniku vln, přeložek či trhlin. Sílu přidržovače můžeme stanovit i podle empirického vzorce:

$$F_{př} = S_{př} \cdot p_p, \quad (1.16)$$

kde  $S_{př}$  je činná plocha přidržovače [mm]  
 $p_p$  je měrný tlak přidržovače viz. Tab.2 [MPa]

Tab.2 Měrný tlak přidržovače [14]

Materiál přístřihu – plechu	$p_p$ [MPa]
Hlubokotažná ocel	2 až 3
Nerezová ocel	2 až 5
Slitiny mědi	1,2 až 1,8
Slitiny hliníku	0,8 až 1,2
Mosaz	1,5 až 2

Pro tažení s přidržovačem jsou nevýhodnější dvojčinné lisы se dvěma berany (vnitřní a vnější). Vnitřní beran provádí tažení a vnější slouží k přidržování taženého materiálu. U těchto lisů lze dobře kontrolovat velikost přidržovací síly během tažení a případně ji i měnit v závislosti na zmenšující se ploše vtahovaného materiálu. Drobnější a středně velké výtažky lze bez problémů táhnout na jednočinných lisech s použitím jednoduchých přidržovačů (pružinové, pneumatické, hydraulické). Přidržovač zde není součástí lisu. V malosériové výrobě lze využít mechanických přidržovačů, kde se přidržovací síla vyvozuje pomocí šroubu a zvoleného dorazu.

### d) Návrh geometrie funkčních částí tažného nástroje [12], [26], [27], [29], [33], [42]

Hlavní uzly při návrhu funkčních částí tažného nástroje tvoří především zaoblení tažné hrany tažnice, zaoblení tažné hrany tažníku a tažná mezera. Jejich vhodná volba má značný vliv na proces tažení a to především na napětí v taženém materiálu a velikost tažné síly, velikost dovoleného součinitele tažení a vznik defektů při tažení.

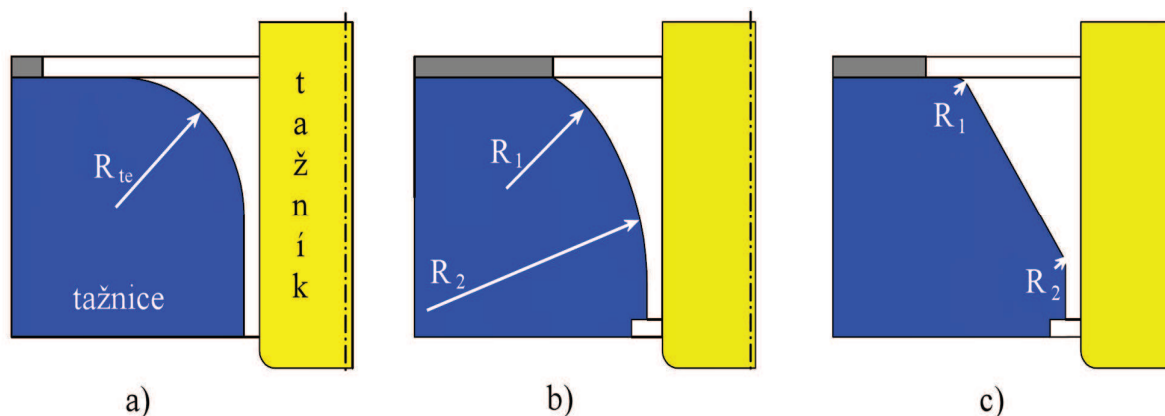
Poloměr zaoblení tažné hrany  $R_{te}$  má vliv na kvalitu a rozměrovou přesnost výtažku. Při malém tažném poloměru dochází k trhlinám ve výtažku. Zvětšování zaoblení tažné hrany



usnadňuje tažení a získává se příznivější koeficient tažení a možnost zvětšení hloubky výtažku. Zvětšování  $R_{te}$  ovšem způsobuje zmenšování plochy pod přidržovačem, což může eliminovat jeho funkci. Poloměr zaoblání tažné hrany lze určit ze vztahu:

$$R_{te} = 0,8 \cdot \sqrt{s_0 \cdot (D_0 - d)} \quad (1.17)$$

Při tažení bez nutnosti použití přidržovače není zapotřebí zohledňovat zmenšování plochy pod přidržovačem a proto se u tohoto způsobu tažení různě upravují funkční části tažnice jak ukazuje Obr.9. Jedná se o velké poloměry zaoblání Obr.9 a), evolventní profil TRAKTRIX Obr.9 b) nebo použití kuželovité plochy Obr.9 c).



Obrázek 9 Tvar tažnic pro tažení plechů bez přidržovače [12]

Poloměr zaoblání hrany tažníku  $R_{tu}$  je roven velikosti zaoblání tažené hrany  $R_{te}$  pro první až předposlední tahy. V těchto tazích se také hrany tažníku mohou upravovat zkosením pod úhlem  $\beta = 35$  až  $40^\circ$ . V posledním tahu je zaoblání hrany rovno poloměru zaoblání předepsaném na výkresu součástí. Minimální hodnoty zaoblání hrany tažníku závisí na velikosti výtažku. Doporučené hodnoty zaoblání jsou v Tab.3. Pokud je nutné zhotovit výtažek s menším poloměrem zaoblání, volí se další kalibrační operace. V této operaci již nedochází k redukci průměru výtažku, ale pouze ke zmenšování konečného zaoblání na výtažku.

Tab.3 Poloměry zaoblání tažné hrany tažníku [27]

Průměr výtažku [mm]	Min. hodnota $R_{tu}$ [mm]
10 až 100	(3 až 4) $s_0$
100 až 200	(4 až 5) $s_0$
200 a víc	(5 až 7) $s_0$

Tažná mezera nebo také tažná vůle  $z$  se volí větší než je tloušťka taženého plechu. Důvodem jsou jednak výrobní tolerance plechu, ale zejména zvětšování tloušťky plechu v důsledku působení tlakového tangenciálního napětí ve vtahující se přírubě. Tažná mezera má také vliv na velikost tažné síly i na trvanlivost nástroje. Při nevhodně zvolené velikosti tažné mezery může dojít k utržení dna výtažku (malá tažná mezera) nebo ke vzniku sekundárních vln (velká tažná mezera). Velikost tažné mezery lze volit podle doporučených hodnot v Tab.4, nebo ji stanovit podle rovnice:

$$z = s_{max} + k \cdot \sqrt{10 \cdot s_0}, \quad (1.18)$$

kde  $s_{max}$  je maximální tloušťka plechu [mm]

$k$  je zmenšující koeficient [-] ( $k = 0,07$  pro ocel,  $k = 0,02$  pro hliník,  $k = 0,04$  pro ostatní neželezné kovy)

Tab.4 Tažná vůle při tažení plechu [42]

Tloušťka plechu [mm]	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,5	2,0	3,0
Tažná vůle $z$ [mm]	0,45	0,65	0,90	1,20	1,40	1,75	2,40	3,50

#### e) Tažná rychlost [7], [40], [42]

Jedná se o rychlost pohybu beranu lisu. Tažná rychlost není stejná jako rychlost deformace. Rychlost deformace je pouze ovlivňována rychlostí pohybu nástroje. Velikost a průběh rychlosti tažení závisí především na možnostech zvoleného stroje. Například u hydraulických lisů je rychlost pohybu nástroje konstantní a běžně dosahují rychlosti od 1 do 15 m/min. Naopak u klikových lisů je rychlost pohybu beranu proměnná a nejvyšší rychlost se pohybuje v rozmezí od 18 do 36 m/min. Nejvyšší rychlost při tažení na klikovém lisu je v okamžiku dosednutí tažníku na tvářený materiál. Doporučené hodnoty rychlosti tažení kovů ukazuje Tab.5. Při běžném tažení by neměla rychlost tažení překročit určitou mez, aby nedošlo k porušení výtazku. Maximální rychlost tažení  $v_{\max}$  lze stanovit:

$$v_{\max} = \frac{16\,680 \cdot m_i}{R_m \cdot m_c}, \quad (1.19)$$

kde  $m_i$  je okamžitý součinitel tažení [-]

Tab.5 Doporučené rychlosti tažení kovů [42]

Tažený materiál	Tažná rychlost [m/min]
Austenitická korozivzdorná ocel	7
Titan a jeho slitiny	7
Nelegovaná ocel	17
Hliník a jeho slitiny	25
Měď a její slitiny	66

## 2 TRIBOLOGIE [5], [35], [38], [39], [54]

Mazání jako takové není nový obor, protože otázka mazání musela přijít zároveň s prvním vývojem a stavbou strojů. Ale od začátku se tomuto oboru nevěnovalo příliš mnoho pozornosti. Tribologie jako samostatný vědní obor se objevuje poprvé v roce 1967. Je to obor, který se zabývá mazáním, třením a opotřebením materiálu při vzájemném styku a pohybu. Tření mezi jednotlivými součástmi a jejich následné opotřebení způsobují lidstvu velké problémy od samotného počátku. Ve strojírenství se vyplývá až 1/3 spotřebované energie na překonání tření mezi v kontaktu se nacházejícími díly a tím se zvýší i cena výrobku. Další nevýhodou tření je vznik tepla a opotřebení materiálu, které snižuje tolerance výrobků (geometrické i rozměrové). Z důvodu opotřebení materiálu u funkčních součástí je nutno zajistit jejich opravu (renovaci) či dokonce výměnu za nový díl, což způsobuje další nemalé náklady na výrobu. Další náklady vznikají prostojem strojů při opravách a nucených odstávkách. Výhody mazání spočívají především ve snížení těchto negativních vlivů a prodloužení trvanlivosti součástí v kontaktu. Mazivo se dá také využít na ošetření kovových výrobků, například pro konzervaci.

### 2.1 Tření [5], [13], [35], [38], [39], [54]

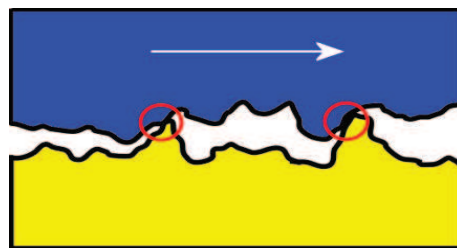
Tření se dá definovat jako odpor proti relativnímu pohybu dvou stýkajících se těles v tangenciálním směru. Tření jako takové se projevuje ztrátou mechanické energie a opotřebením materiálu. Ve většině případů se tedy snažíme snížit ztráty vlivem tření na minimum. Tření ovšem může být také prospěšné, jako je tomu například u válcování, kde se využívá k přenosu sil a tím uskutečnění samotného procesu válcování.

Rozeznáváme dva hlavní druhy tření: tření suché (tření tuhých těles) a tření tekutinové (kapalinové, plynné). Jednotlivé druhy se v technické praxi vyskytují samostatně jen zřídka. Při tření v reálných podmínkách se tak uplatňuje kombinace těchto druhů, které budou blíže popsány v následujících kapitolách.

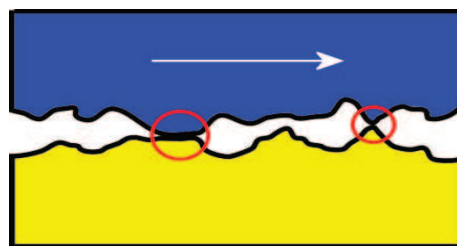
#### 2.1.1 Suché tření [5], [13], [35], [38], [39], [54]

Při suchém tření dochází k bezprostřednímu styku obou třecích povrchů. Síla bránící pohybu součástí zde vzniká ze dvou důvodů: deformace a adheze povrchů. Na obojí mají vliv zejména vlastnosti povrchů, jejich velikost, geometrie, tepelné vlastnosti, mechanické vlastnosti a chemické složení.

Dokonale hladké povrchy nelze zhotovit a deformace výstupků na povrchu těchto těles způsobuje třecí odpor. Tyto výčnělky se do sebe zaklesávají Obr.10 a dochází tak k jejich vylamování (u těles stejné tvrdosti), stříhání (u těles s různou tvrdostí) a deformaci (u měkkých materiálů). Třecí síla vlivem deformace je tedy přímo úměrná drsnosti povrchů stýkajících se těles. Druhým důvodem je adheze, která vzniká při dostatečném přiblížení výčnělků na povrchu, tak že vlivem molekulárních sil dojde k tzv. studeným svarům těchto povrchů Obr.11. Síla potřebná na oddělení těchto povrchů se zde projevuje jako třecí síla.



Obrázek 10 Deformace výstupků [35]



Obrázek 11 Adheze výstupků [35]

### 2.1.2 Mezné tření [5], [13], [35], [38], [39], [54]

Mezné tření je druh kapalinového tření, kdy se mezi stýkajícími povrchy již nachází tenká vrstva (film) maziva, která tyto povrchy odděluje. V technické praxi tato vrstva vzniká při vysokém zatížení povrchů, malých smykových rychlostech a velké drsnosti povrchů. Mezní tření je spojeno jak s fyzikální tak chemickou přilnavostí maziva k povrchu mazané součásti. Tvorba mazací vrstvy nezávisí tedy pouze na vlastnostech maziva, ale i na vlastnostech materiálů, na které se nanáší. Mezní vrstva maziva, která má tloušťku  $\approx 1\mu\text{m}$ , nemůže zabránit vystupování nerovností a i zde dochází ke kovovému styku součástí. Vrstva maziva má zde především zabránit jejich přímému styku a omezit možnost vzniku svarů těchto ploch jak je zobrazeno na Obr.12.



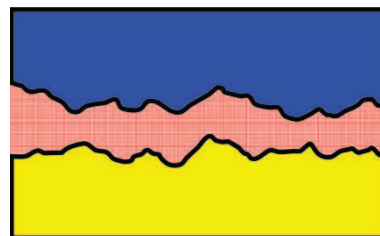
Obrázek 12 Mezní tření [35]

### 2.1.3 Kapalinové tření [5], [13], [35], [38], [39], [54]

Kapalinové tření vzniká, když tloušťka vrstvy maziva je natolik velká, aby došlo k úplnému vyrovnání drsností obou třecích povrchů. Vrstva maziva tedy dokonale oddělí povrchy a nedochází u nich k žádnému kontaktu třecí dvojice, jak je znázorněno na Obr.13. Velikost třecí síly tedy odpovídá pouze vnitřnímu tření v mazací vrstvě. Tuto sílu lze vyjádřit vztahem:

$$F_t = \eta \frac{S_m \cdot v}{h_m},$$

(1.20)



Obrázek 13 Kapalinové tření [35]

kde  $\eta$  je dynamická viskozita

[Pa·s]

$S_m$  je styčná plocha třecích povrchů

[m<sup>2</sup>]

$v$  je lineární rychlost pohybu třecích povrchů

[m·s<sup>-1</sup>]

$h_m$  je tloušťka vrstvy maziva

[m]

a pro součinitelkapalinového tření tedy platí:

$$\mu = \frac{\eta \cdot v}{h_m \cdot p_s},$$

(1.21)

kde  $p_s$  je střední tlak [MPa]

### 2.1.4 Smíšené tření [5], [13], [35], [38], [39], [54]

Smíšené tření je nejtypičtější druh tření ve všech tvářecích operacích. Jedná se o kombinaci tření kapalinového a mezního. K tomuto druhu tření tedy dochází, když tloušťka vrstvy maziva není natolik silná, aby zaručila kapalinové tření, ovšem není ani tak slabá, aby se jednalo o tření mezní. Velikost součinitele tření se tedy pohybuje v poměrně širokém rozmezí. Například u tváření za studena při smíšeném tření může koeficient tření nabývat hodnot 0,2 až 0,04.

## 2.2 Geometrie povrchu [5], [35], [38], [39], [54]

Geometrie povrchu stýkajících se součástí představuje významnou roli v procesu tření, která se odráží ve velikosti třecí síly. Žádný reálný povrch, bez ohledu na způsob jeho opracování, není dokonale rovný a hladký (Obr.14-1). Povrch tělesa dále podléhá degradaci vlivem fyzikálních a chemických vlivů z okolí (oxidace). Při provozu podléhá i mechanickým

vlivům (elastická a plastická deformace). V současné době tedy není technicky možné vyrobit ideálněrovný a hladký povrch. Reálné povrchy tedy obsahují odchylky tvaru, polohy a drsnosti viz Obr.14.

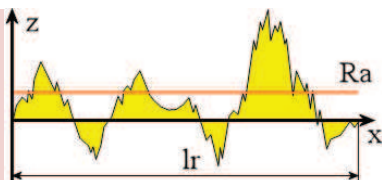
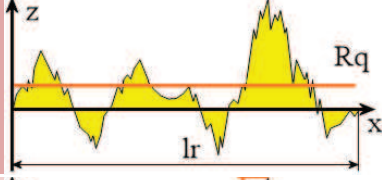
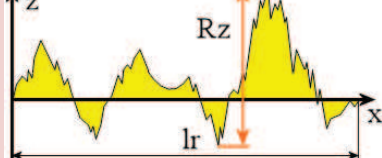
Na povrchu každého tělesa můžeme tedy nalézt nespočet vrcholků a kráterů, které dosahují velikosti jednotek mikrometrů. Rozmístění těchto nerovností na povrchu je náhodné. Další vlastností drsnosti povrchu je, že při každém dalším zvětšení můžeme sledovat další detailnější drsnost, jak je zobrazeno na Obr.14-5.

Jedním ze základních způsobů hodnocení kvality povrchu je měření jeho drsnosti (Obr.14-4). Při tomto měření se nehodnotí vlnitost povrchu (Obr.14-3) ani úchytky jeho tvaru (Obr.14-2). Nejčastějšími způsoby hodnocení drsnosti je hodnocení výškových parametrů. Mezi hodnocení povrchu na základě výškových parametrů řadíme:

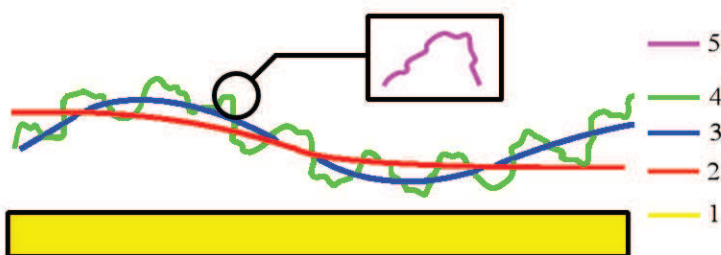
- ✗ průměrnou aritmetickou odchylku  $Ra[\mu m]$ ,
- ✗ střední kvadratickou odchylku  $Rq[\mu m]$ ,
- ✗ největší výškovystupku profilu  $Rp[\mu m]$ ,
- ✗ největší hloubku prohlubně profilu  $Rv[\mu m]$ ,
- ✗ největší výšku profilu  $Rz[\mu m]$ .

Způsob výpočtu vybraných hodnot je uveden v Tab.6.

Tab.6 Způsob výpočtu drsnosti na základě výškových parametrů [35]

Měřený parametr	Výpočet	Schéma
<b>Průměrná aritmetická odchylka</b> <b><math>Ra[\mu m]</math></b>	$Ra = \frac{1}{lr} \int_0^{lr}  z(x)  dx$	
<b>Střední kvadratická odchylka</b> <b><math>Rq[\mu m]</math></b>	$Rq = \sqrt{\frac{1}{lr} \int_0^{lr} z(x)^2 dx}$	
<b>Největší výška profilu</b> <b><math>Rz[\mu m]</math></b>	$Rz = \text{největší výstupek} + \text{nejnižší prohlubeň}$	

Problém hodnocení kvality povrchu je ovšem mnohem rozsáhlejší a komplikovanější. I u různých povrchů můžeme například získat stejnou hodnotu drsnosti  $Ra$ . Komplexní představu o drsnosti povrchu by bylo možné získat pomocí vrstevnicových map a následným 3D zobrazením těchto hodnot. Toto vyhodnocování povrchu je však časově i finančně velmi náročné a v běžném výrobním procesu nerealizovatelné. Proto se pro předepisování drsnosti povrchu na strojírenské výkresy volí rychlá a lehce vyhodnotitelná hodnota drsnosti  $Ra$  případně  $Rq$ .



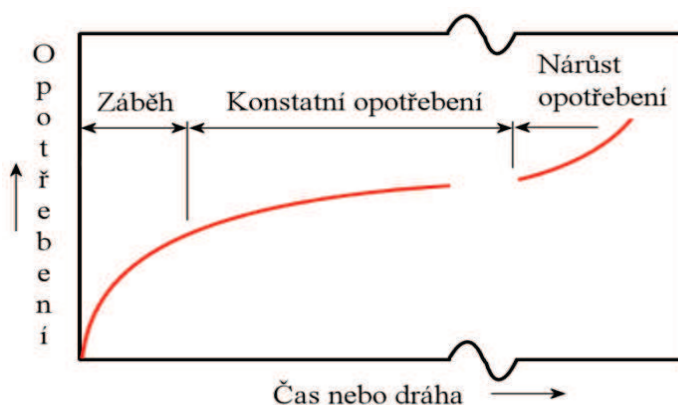
Obrázek 14 Geometrie povrchu tělesa [5]



## 2.3 Opotřebení povrchu [5], [35], [37], [38], [39], [54]

Opotřebení je postupné poškození třecích povrchů v přímém styku a vzájemném pohybu, které se projevuje úbytkem materiálu a poškozením těchto povrchů. Opotřebení se může uskutečňovat oddělováním částic mechanickým, chemickým, elektrochemickým, elektrickým nebo jiným působením. U mechanických procesů opotřebení, které se ve strojírenské praxi nejčastěji vyskytují, se také užívá názvu otěr. Opotřebení povrchu, jako důsledek tření znamená značnou finanční zátěž pro každý strojírenský podnik, a proto by mu měla být v každém podniku věnována zvláštní pozornost.

Opotřebení má svůj časový průběh, který lze rozdělit do třech částí, viz křivka závislosti opotřebení na dráze/čase na Obr.15. V každé části této křivky je rychlost opotřebení jiná. V 1. části, záběhu, je poměrně značné opotřebení po krátký časový úsek. Dojde zde ke strhnutí nebo otupení největších výstupků na povrchu. Následuje poměrně stabilní 2. část, kdy je opotřebení téměř konstantní. První a druhá část tvoří životnost dané součásti. Ve 3. části je razantní nárůst opotřebení až do úplného zničení součásti. Tvar a rychlost opotřebení závisí především na druhu opotřebení, zatěžující síle, drsnosti a velikosti kontaktní plochy, druhu použitého maziva atd.



Obrázek 15 Graf závislosti opotřebení na čase/dráze [35]

Jak bylo zmíněno v předchozím odstavci, opotřebení závisí také na jeho druhu. Základní druhy opotřebení tedy jsou:

- ❖ adhezivní – oddělování částic materiálu působením meziatomových sil,
- ❖ abrazivní – oddělování částic materiálu rýhováním a řezáním,
- ❖ erozivní – oddělování částic materiálu v důsledku proudění kapaliny,
- ❖ chemické – degradace povrchu vlivem koroze,
- ❖ únavové – poruchy v povrchové vrstvě materiálu,
- ❖ vibrační – oddělování částic oscilací o malé amplitudě při zatížení.

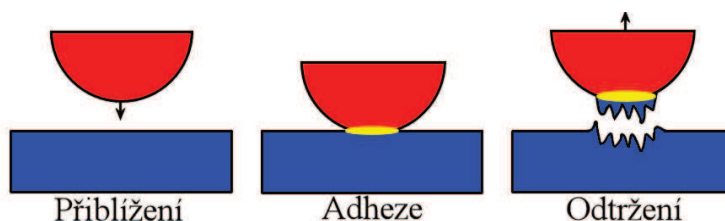
Nejčastěji vyskytujícím se druhem opotřebení je při tváření opotřebení adhezivní a abrazivní, a proto jim bude věnována pozornost v následujících kapitolách.

### 2.3.1 Adhezivní opotřebení [5], [35], [38], [54]

Opotřebení materiálů z důvodu adheze nastává, když se nerovnosti na povrchu třecí dvojice přiblíží natolik, že umožní vzniku molekulárních vazeb mezi nimi. Jedná se o spojení v důsledku působení Van der Waalsových vazeb nebo velmi silných chemických vazeb. Adhezivní opotřebení nastává u materiálů stejného druhu (např.: ocel-ocel) nebo při nedostatku maziva za současného působení vysokých teplot a vysokých rychlostí pohybu. Velkého adhezivního opotřebení se dosahuje při hlubokém tažení nerezových plechů, kdy musí být použit vysoký tlak na přidržovači, oproti hlubokotažným plechům.

Při adhezivním opotřebení dochází ke vzniku tzv. studených svarů. Toto se projevuje dvěma účinky: velkým zvýšením koeficientu tření mezi povrchy a poškozením třecích povrchů odtrháváním těchto svarů. Teorie adheze je tedy založena na vzniku studených svarů

a jejich stříhání v důsledku vzájemného pohybu třecích povrchů po sobě. V místě adheze jsou materiály velice pevně spojeny a v tomto místě dochází k přerušení vazby jen velmi zřídka. Dochází zde spíše k vytržení nebo odstřížení toho materiálu z třecí dvojice, který má nižší tvrdost, jak ukazuje Obr.16. Na odtržení je potřebná určitá síla, která se zde projevuje jako síla třecí. Utržené částice potom dále poškozují povrch, ať už jako tvrdé částice přítomné v mazivu nebo jako nerovnosti na povrchu.



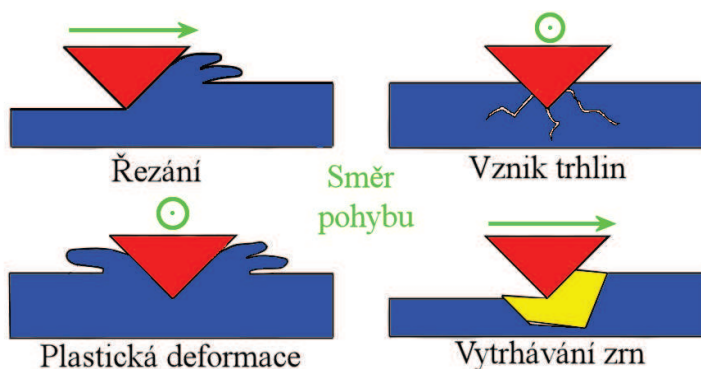
Obrázek 16 Adhezní opotřebení [35]

Adhezivní opotřebení lze omezit správnou volbou maziva s vysokou přilnavostí k povrchu součástí, tak aby nedocházelo k přímému styku povrchů. Další možností je výběr materiálů s menší příbuzností, či změna provozních podmínek (snížení zatížení, teploty...).

### 2.3.2 Abrazivní opotřebení [5], [35], [38], [54]

Abrazivní opotřebení povrchů nastává při styku materiálů s různou tvrdostí nebo při výskytu tvrdých částic mezi třecí dvojicí. Tyto částice jsou potom taženy po povrchu a způsobují jeho opotřebení. Abrazivní částice mohou být obsaženy v mazivu nebo ulpívat v některém z materiálů a rýhovat ten druhý.

Opotřebení abrazí může mít několik podob viz Obr.17. Jednou podobou je, že tvrdší částice řezou materiál, jako je tomu například u obrábění. Odřezaný materiál se zde projevuje jako opotřebení. Pokud je odíraný materiál křehký (např.: keramika), může v něm dojít ke vzniku a šíření trhlin. Naopak pokud je odíraný materiál houževnatý, dochází zde vlivem tvrdých částic k opakované plastické deformaci a vzniku únavového opotřebení. Poslední mechanismus abrazivního opotřebení je vytrhávání celých zrn z povrchu. K tomuto druhu abrazivního opotřebení dochází zejména u materiálů, kde je vazba mezi zrny slabá. Takto oddělená zrna, jelikož jsou většinou velice tvrdá, způsobují další abrazivní opotřebení.



Obrázek 17 Abrazivní opotřebení [35]

Abrazivní, stejně jako adhezivní opotřebení, lze redukovat vhodnou volbou maziva. Rozhodující vliv má také drsnost povrchu. Čím nižší je drsnost povrchu, tím nižší je i abrazivní opotřebení. Opotřebení lze ovlivnit i vhodnou volbou třecích materiálů a změnou provozních podmínek.

### 3 MAZIVA [5], [35], [38], [39], [42], [54]

V současné době získávají maziva v průmyslových aplikacích na významu z důvodu jejich nespočetných výhod, které poskytují. Hlavní úlohou maziv v průmyslové výrobě je snižování tření a opotřebení materiálů. Další úlohou maziv jsou například ochrana proti korozi jak výrobních součástí, tak výrobků, či odvod tepla.

Další velice důležitý aspekt je zachování funkce maziva. Jelikož maziva jsou v podstatě uhlovodíky, je jejich chemická reakce s vodou či vzdušnou vlhkostí prakticky nevyhnutelná. Aditiva (příspěvky), které jsou v mazivu, také podléhají degradaci během používání. Reagují především se strojními součástmi a s prostředím. Zhoršování kvality a funkce maziv je nevyhnutelným jevem, proto je zapotřebí věnovat pozornost jeho správné volbě, aby byla tato degradace snížena na minimum.

Obvyklé složení maziv je 95% základního oleje a 5% přísad. Olej je tedy hlavní částí maziva a má největší vliv na výsledné vlastnosti maziva. Existují tři hlavní skupiny základních olejů: biologické, minerální a syntetické. Každá z těchto skupin poskytuje různé vlastnosti a oblasti použití. Například:

- *biologické oleje* jsou vhodné pro použití v potravinářském či farmaceutickém průmyslu, kde je nutnost snížení rizika kontaminace na minimum. Biologické oleje mohou být rostlinného původu (palmový, ricinový či řepkový olej) nebo živočišného (tuky, lanolin),
- *minerální oleje* tvoří skupinu nejpoužívanějších olejů v průmyslné výrobě a v provozu strojů. Získávají se z ropy a používají se na mazání při průměrných teplotách,
- *syntetické oleje* byly vyvinuty jako náhrada za minerální oleje, tam kde tyto oleje ztrácejí svoje mazací schopnosti. Používají se při vysokých tlacích nebo teplotách.

Mezi maziva lze také zařadit plastická maziva. Plastická maziva jsou v podstatě zahuštěné minerální nebo syntetické oleje, které byly vyvinuty kvůli neschopnosti přivádění mazacích olejů do místa mazání. Plastická maziva slouží jako semi-permanentní a skládají se ze 75-95 % základního oleje, 5-20 % zahušťovadla a 0-15 % aditiv.

S ohledem na zaměření diplomové práce bude v dalších kapitolách věnována pozornost pouze minerálním a syntetickým olejům a plastickým mazivům.

#### 3.1 Minerální oleje [5], [35], [38], [39], [54]

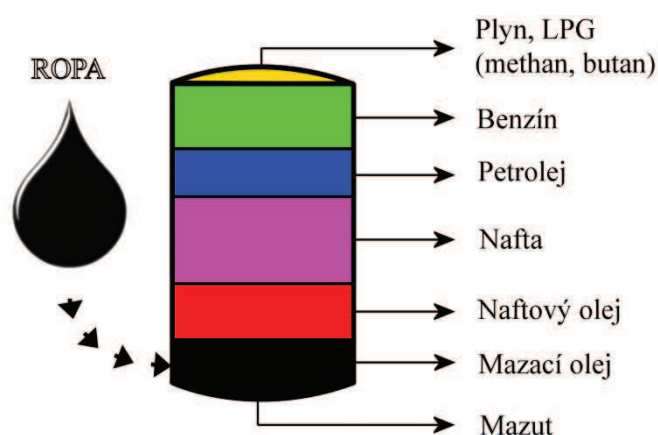
Minerální oleje patří mezi nejrozšířenější maziva ve strojírenském průmyslu. Jejich vzestup začal v druhé polovině 19. století společně s rozvojem těžby ropy, z které jsou tyto oleje vyráběny. Od této doby proběhl obrovský boom ve vývoji těchto maziv a v dnešní době se na trhu objevuje nespočet druhů maziv na bázi minerálních olejů, které pokrývají širokou oblast použití. Mezi hlavní výhody minerálních olejů patří, jak již bylo zmíněno nejenom jejich dobrá dostupnost, ale i nízká cena.

##### 3.1.1 Výroba minerálních olejů [5], [35], [38], [39], [54], [55]

Minerální oleje jsou získávány během destilace surové ropy. Destilační proces, kterým ropa prochází, se nazývá frakční destilace. Během tohoto procesu je ropa zahřátá a na základě různých bodů varu částí, které jsou v ropě obsaženy, se rozdělí do několika frakcí. Převážná většina z produktů získaných touto destilací se používá na výrobu paliv, jak je zobrazeno na Obr.18. Při vysokých teplotách může dojít k přehřátí surové ropy a vzniku nežádoucích látek jako je koks. Tomuto se dá zabránit destilováním za sníženého tlaku, kdy mohou být části ropy destilovány za nižších teplot. Při destilaci ropy za atmosférického tlaku jsou získány tyto produkty v závislosti na bodu varu: plyny, benzín, petrolej, nafta, naftový olej, mazací olej. Neodpařené produkty, se usadí na dně nádoby v podobě mazutu.



Po dokončení destilace a získání mazacího oleje, prochází tato látka dalšími úpravami. Jednou z těchto úprav je rafinace. Rafinace je proces další destilace, která má za účel odstranit nežádoucí složky mazacího oleje, jako jsou vosky, aromatické uhlovodíky a sloučeniny obsahující síru a dusík. Vosky způsobují tuhnutí maziv při normálních nebo zvýšených teplotách. Aromatické uhlovodíky snižují viskozitu výsledného maziva a nečistoty v podobě sírových nebo dusíkatých sloučenin způsobují korozi materiálu a jeho následné opotřebení. Po těchto úpravách získáme minerální olej, který může mít širokou oblast použití od kosmetiky, medicíny až po průmyslovou výrobu.

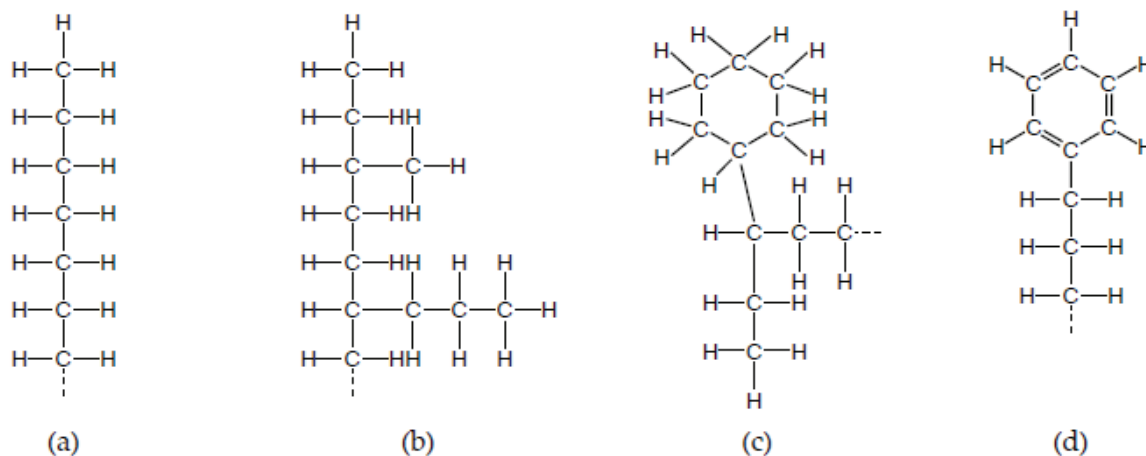


Obrázek 18 Atmosférická destilace ropy [55]

### 3.1.2 Druhy minerálních olejů [5], [35], [38], [39], [54]

Minerální oleje jsou obvykle děleny do skupin podle jejich hlavních uhlovodíkových složek, což je nejvíce ovlivněno zdrojem ropy, z kterého je tento olej získáván. Převážná část minerálních olejů je složena z uhlovodíků s přibližně 30 atomy uhlíku v každé molekule. Tyto uhlovodíky mohou tvořit několik přímých nebo cyklických řetězců spojených dohromady. Atomové uspořádání ukazuje Obr.19. Existují tedy tři hlavní skupiny minerálních olejů:

- parafínové minerální oleje,
- naftalénové minerální oleje,
- aromatické minerální oleje.



Obrázek 19 Druhy řetězců minerálních olejů [35]

Parafínové minerální oleje jsou oleje, kde atomy uhlíku převážně tvoří dlouhé řetězce Obr.19-a). Tyto řetězce mohou obsahovat několikrát rozvětvení Obr.19-b), ale neobsahují žádné cyklické struktury. Každý olej obsahuje stovky různých řetězců. Všechny řetězce, rozvětvené i nerozvětvené, lze popsat vzorcem  $C_nH_{2n+2}$ , kde  $n$  je velmi vysoké číslo. Naftalénové minerální oleje tvoří takovou strukturu, která má alespoň jeden cyklický uhlovodík Obr.19-c). Tyto struktury se mohou spojovat dohromady a tvořit tak polynaftalénovou strukturu. Oproti parafínovým minerálním olejům jsou jednodušší na výrobu, protože nepotřebují tolik fází rafinace. Porovnání složení parafínových a naftalénových olejů

ukazuje Tab.7. Aromatické minerální oleje nejsou na rozdíl od naftalenových plně nasyceny a tvoří tak cyklické struktury s jednoduchou ale i dvojnou vazbou mezi atomy uhlíku Obr.19 d). Aromatické oleje se v přírodě vyskytují v podstatně menším množství než parafinové a naftalenové oleje.

Tab.7 Složení parafinových a naftalenových olejů [54]

Procentuální zastoupení		
Složky	Parafinový olej	Naftalenový olej
Atomy uhlíků v parafinových řetězcích	65	50
Atomy uhlíků v naftalenových prstencích	31	45
Atomy uhlíků v aromatických prstencích	2	2
Síra	0,5	1
Ostatní složky	1,5	2

Minerální oleje, podobně jako ostatní chemikálie, podléhají degradaci a to především oxidací uhlovodíkových řetězců. Nejcitlivější na oxidaci jsou aromatické řetězce, naopak parafinové jsou nejméně náchylné k oxidaci. Oxidace zhoršuje vlastnosti maziva, a proto se do maziv přidávají antioxidanty, které přednostně reagují s vzdušným kyslíkem a zabráňují zhoršování kvality maziva. Mezi další významné látky obsažené v minerálních olejích patří síra. Malé množství síry napomáhá k odolnosti proti oxidaci a také lepší mazací schopnosti maziva. Na druhou stranu síra v mazivu způsobuje korozi v materiálu. Minerální oleje lze také posuzovat podle viskozity, která je přímo závislá na teplotě rafinace. Viskozita běžně užívaných maziv se pohybuje od 5 do 700 mm<sup>2</sup>/s.

### 3.2 Syntetické oleje [5], [11], [35], [36], [38], [39], [54]

Syntetické oleje se začaly poprvé vyskytovat na trhu začátkem minulého století. Důvodem jejich vynalézání je potřeba užití maziva v podmínkách, kde minerální oleje selhávají nebo nedokáží plnit dostatečně svou úlohu. Jedná se především o mazání za vyšších teplot (minerální oleje jsou limitovány teplotou okolo 150 °C), v nevyhovujícím agresivním prostředí, speciálních aplikacích atd. Dalším důvodem je nedostatek ropy v některých státech a nutnosti najít alternativu za minerální oleje. Syntetické oleje mají také řadu nevýhod, jako je například jejich hořlavost, ekologická závadnost, agresivní chování vůči určitým materiálům (pryže, plasty, lehké kovy...) a také jejich vysoká cena oproti minerálním olejům. Syntetické oleje lze rozdělit podle charakteru prostředí, ve kterém pracují na dvě skupiny:

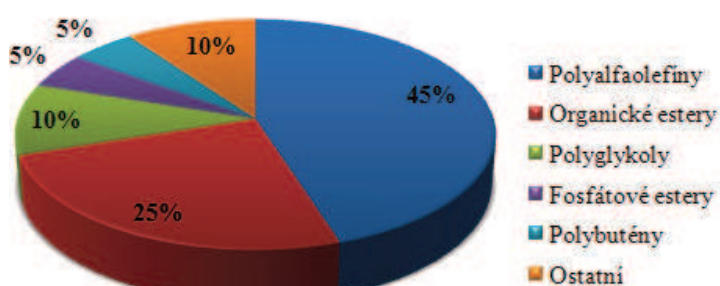
- oleje pro práci za normálních nebo zvýšených teplot,
- oleje pro práci za extrémních teplot či v agresivním chemickém prostředí.

Toto dělení slouží pro základní orientaci při výběru syntetického maziva. Další mnohem specifitější dělení je podle typu sloučenin, ze kterých je dané mazivo vyrobeno. Těchto skupin je opravdu nespočetné množství, a proto v této práci bude věnována pozornost jen třem nejvýznamnějším. A to jsou:

- *syntetické uhlovodíky (polyalfaolefiny, organické estery, polyglykoly, fosfátové estery, polybuteny...),*
- *silikonové oleje (silikony, silikonové uhlovodíky),*
- *organohalogenidy(perfluoropolyétery, chlor-fluor uhlovodíky...).*

Každý z těchto druhů syntetických olejů se vyznačuje svými specifiky a oblastí určení. V dnešní době se nejvíce využívají syntetické uhlovodíky, jak ukazuje Obr.20. Syntetické uhlovodíky mají lepší mazací schopnosti než minerální oleje, ale jejich cena je srovnatelná. Vyznačují se nízkým bodem tuhnutí, nízkou závislostí viskozity na teplotě, menší odpařivostí a chemickou stálostí při teplotách přesahujících 200 °C. Mohou se mísit s vodou a zvýšit tak jejich chladicí účinek. Tyto maziva se hlavně používají v automobilovém průmyslu,

kde zvyšují spolehlivost motoru. Silikonové oleje byly vyvinuty, za účelem zvýšení teploty použití maziva a jejich chemické stability. Vyrábějí se v široké škále viskozit, která má vysoký viskozitní index (plochá závislost viskozity na teplotě). Problém u těchto maziv nastává v oblasti mezního mazání, kdy mají velice špatnou mazací schopnost. Tato maziva se tedy používají v přístrojové technice a v oblastech s nižším zatížením. Poslední skupinou jsou



Obrázek 20 Světový trh syntetických maziv [36]

organohalogenidy, které se vyrábějí hlavně z chlórových a fluorových halogenidů, méně z halogenidů na bázi jódu a bromové halogenidy se téměř nepoužívají. Tyto druhy maziv jsou velice odolné proti oxidaci a mají výbornou tepelnou stabilitu. Tato maziva se používají pouze v extrémních podmínkách, protože jejich cena je poměrně vysoká. Srovnání vybraných vlastností zástupců syntetických olejů a minerálního oleje i na základě pořizovacích nákladů je uveden v Tab.8.

Tab.8 Srovnání syntetických a minerálních olejů [11], [35], [54]

Mazivo	Minerální oleje	Estery, syntetické estery	Silikonové oleje	Polyfluoro-polyethery
<i>Chemické složení</i>	C, H	C, H, O	C, H, O, Si	C, F, O
<i>Teplotní rozsah [°C]</i>	+140 -30	+240 -15	+250 -40	+350 -10
<i>Teplota vznícení [°C]</i>	150-200	200-250	290	nehořlavé
<i>Mazací schopnost</i>	dobrá	velmi dobrá	střední	dobrá
<i>Antikoroziní ochrana</i>	záleží na nečistotách	Dobrá	střední	výborná
<i>Cena vůči min. olejům</i>	1	2-4	cca 40	cca 200
<i>Vlastnosti, použití</i>	Oleje pro nízké teploty, široká oblast použití	Oleje pro nízké teploty, biologicky odbouratelné, přístrojové oleje	Oleje pro vysoké teploty a nízké tlaky, malá zatížení, jemná mechanika, přístrojové oleje	Oleje pro extrémní teploty, vysoká chemická odolnost

### 3.2.1 Výroba syntetických olejů [5], [35], [36], [38], [39], [54]

Proces výroby uhlovodíkových syntetických olejů se provádí krakováním ropy, kdy jsou z ropy získávány uhlovodíky o nízké molekulové hmotnosti. Tento proces se provádí tak, aby se snížil počet různých druhů molekul obsažených v oleji a získaly se tak pouze ty uhlovodíky, které jsou vhodné pro mazání. Na rozdíl od výroby minerálních olejů zde nezůstávají zbytky nepotřebných a nevhodných uhlovodíků, které nejdou při výrobě destilací minerálního oleje odstranit. Při výrobě se používají katalyzátory a vysoké tlaky, aby se velké molekuly uhlovodíků rozložily na menší a kompaktnější molekuly. Tyto molekuly jsou následně polymerizovány za specifických podmínek, aby se získala maziva o vysoké

viskozitě a nízké těkavosti. Následnou aditivací takto vyrobeného základu lze získat maziva se širokou škálou použití.

Organohalogenidy a také silikonové oleje se vyrábějí za použití katalyzátorů. Organohalogenidy jsou vyráběny pomocí reakce uhlovodíkového plynu (methanu) s chlorovodíky. Tato reakce probíhá za zvýšených tlaků a teplot, které dosahují 250 °C. V dnešní době jsou maziva na bázi organohalogenidů také vyráběna za použití katalyzátorů, jako je hliníkový prášek nebo chlorid zinku. Během procesu jsou získávány molekuly s nízkou hmotností (např. metyl-chlorid), z kterých se následnou polymerizací získají organohalogenidy. Silikonové oleje jsou také získávány z methyl-chloridu, který reaguje s křemíkem v měděném katalyzátoru za teplot okolo 380 °C. Vzniklá struktura  $(2\text{CH}_3)_2\text{SiCl}_2$  je následně zbavena chlóru pomocí kyseliny chlorovodíkové. Po konečném zneutralizování a odvodnění vzniká výsledný základní produkt pro výrobu silikonového oleje.

### 3.3 Plastická maziva [35], [23], [31], [43], [39], [54]

Plastická maziva nebo také mazací tuky (Obr.21) lze charakterizovat jako mazivo s malou viskozitou. Jedná se o emulzi základového mazacího oleje, zahušťovadla a aditiv. Obsah zahušťovadla je takový, aby se docílilo gelové nebo emulzní struktury. Jeho obsah v mazivu se pohybuje mezi 5 % až 20 %. Plastická maziva, stejně jako mazací oleje, slouží ke snížení tření a opotřebení materiálu. Díky své tuhé struktuře poskytují tzv. semipernamentní mazání. Toto mazání má své nevýhody a to především špatný odvod tepla a částic vzniklých opotřebením z mazaného místa. Plastická maziva ve většině případů neposkytují takovou mazací schopnost, jako mají mazací oleje, ovšem existuje řada aplikací, kde se přednostně využívají plastická maziva. Jedná se především o mazání valivých ložisek či převodovek. Používají se ovšem i v další řadě aplikací, kde lze využít jejich specifické vlastnosti jako:



Obrázek 21 Vzhled plastických maziv [23]

- dlouhé domazávací a výměnné lhůty,
- malé nároky na obsluhu či údržbu,
- velmi malá spotřeba,
- utěsnění požadovaných míst,
- nenáročnost na konstrukci uložení maziva,
- poměrně široké aplikační rozmezí.

Možnosti použití plastického maziva z hlediska pracovních podmínek jsou víceméně stejné jako u mazacího oleje, ovšem s jednou podmínkou navíc. Plastická maziva musí po celou dobu své funkce zůstat tuhá a to i za zvýšených teplot. Při zvýšených teplotách dochází u plastických maziv k rozpadu jejich vnitřní struktury (zkapalní) a mazivo i po ochlazení zůstává kapalné, což je u tohoto druhu maziva nežádoucí. Jak již bylo zmíněno, plastická maziva špatně odvádí teplo z místa mazání, proto se nedají použít v aplikacích s vysokým vývinem tepla, jako je například vysokootáčkové mazání.

### 3.3.1 Výroba a složení plastických maziv [35], [39], [54]

Plastická maziva se vyrábí zahušťováním základového oleje, který může být minerální i syntetický. Olej se smíchá s příslušným zahušťovadlem a celá směs se následně vaří až do vytvoření mýdla. V následující operaci je ze směsi odstraněna voda a mýdlo zkrystalizuje. V poslední fázi je potřeba získat homogenní strukturu. Toto se provádí mechanickým mícháním maziva, při kterém se do něj přidávají aditiva a zbývající olej. Pro získání potřebných vlastností maziva se proces míchání několikrát opakuje a některá plastická maziva se nechávají i vystárnout. Výroba probíhá ve velkých nádobách, ale už se objevují i kontinuální linky na výrobu plastických maziv. Nejdůležitější vlastností pro všechny maziva, stejně jako pro plastická maziva, je jejich složení. Složení jednotlivých plastických maziv si každá firma hlídá, ale do primárního složení každého plastického maziva vždy patří:

#### *Základový mazací olej*

V plastických mazivech tvoří největší podíl 75-95 %. Může se jednat o minerální olej, který se používá na výrobu většiny mazacích tuků, nebo o syntetický olej, který se používá na plastická maziva pro práci za extrémních podmínek. Výroba z rostlinných olejů se vyskytuje velmi zřídka. Olej plní v mazivu řadu funkcí. Především jeho viskozita a možnost rozpouštění přísad na zvýšení výkonnosti jsou důležité. Olej by měl také tvořit, společně se zahušťovadlem, stabilní systém, aby se zabránilo jeho úniku.

#### *Zahušťovadla*

Charakteristika plastického maziva závisí na typu použitého zahušťovadla, které vytváří mazací strukturu. Například pokud je zahušťovadlo odolné proti vysokým teplotám, bude i výsledné plastické mazivo odolné proti vysokým teplotám, nebo pokud je zahušťovadlo voděodolné i výsledné mazivo bude voděodolné. Z těchto důvodů je nutné věnovat velkou pozornost při výběru správného zahušťovadla. Mezi nejčastěji používaná zahušťovadla patří organické kyseliny, mýdla a esterový komplex s vysokou viskozitou. Vliv jednotlivých druhů zahušťovadel na výsledné vlastnosti plastického maziva jsou v Tab.9.

Tab.9 Vliv vybraných druhů zahušťovadel [35]

Zahušťovadlo	Teplota tečení [°C]	Mechanická stabilita	Ochrana proti opotřebení	Odolnost proti vodě	Teplotní stabilita	Životnost	Cena
Sodné mýdlo	185	Střední	Střední	Malá	Malá	Střední	1
Li/Ca mýdlo	185	Dobrá	Střední	Výborná	Střední	Dobrá	1,4
Lithiový komplex	250	Výborná	Střední	Dobrá	Dobrá	Dobrá	1,8
Vápenatý komplex	240	Malá	Výborná	Střední	Střední	Střední	1,5
Hlinitý komplex	250	Dobrá	Malá	Malá	Střední	Střední	1,6
Bentonit	≥300	Dobrá	Malá	Dobrá	Dobrá	Střední	1,5
Směs mýdla a bentonitu	≥300	Výborná	Střední	Výborná	Dobrá	Dobrá	1,9
Polymočovina (di-močovina)	270	Výborná	Výborná	Dobrá	Výborná	Výborná	2,5
Polymočovina (tetra-močovina)	260	Malá	Výborná	Dobrá	Dobrá	Výborná	2



## *Aditiva*

Aditiva používaná při výrobě plastických maziv jsou podobná těm, která se používají i u olejů. Jedná se především o inhibitory koroze, antioxidační aditiva, vysokotlaká aditiva a aditiva pro zlepšení přilnavosti a mazivosti. Bližší rozbor aditiv je popsán v následující kapitole.

### **3.4 Aditiva [5], [35], [38], [39], [54]**

Aditiva se přidávají do maziv v nízkých koncentracích za účelem zlepšení vlastností daného typu maziva, jak chemických, tak fyzikálních. Jsou to chemikálie výhradně organického nebo organometalického původu. Hlavními důvody přidávání aditiv jsou:

- snížení tření a opotřebení (zejména za vysokých tlaků),
- zlepšení oxidační stability,
- zabránění korozi,
- aditiva na zlepšení viskozity maziva,
- zabránění kontaminaci maziva s pracovním prostředím,
- zabránění pění maziva.

Správná volba a kombinace aditiv tedy může značně vylepšit vlastnosti daného maziva. Řada maziv pro různé účely se právě liší pouze „balíčkem“ aditiv přidaných do základového oleje. Správné namíchání aditiv do maziva je spíše otázka zkušeností dané firmy, než nějakých vědeckých či fyzikálních výzkumů. Z těchto důvodů jsou přesné koncentrace a typy aditiv přísně střeženy a zákazník se dozví pouze to, o jaký druh aditiv obsažených v oleji se jedná.

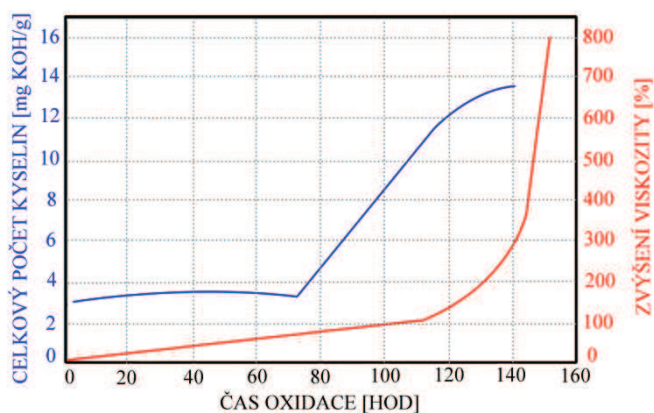
#### *Aditiva na snížení tření a opotřebení*

Jak již ze samotného názvu vyplývá, jedná se o nejvýznamnější doplňkové látky, které jsou do maziva přidávány. Jsou to chemické látky, které zajistí lepší přilnutí maziva k povrchu třecí dvojice i za zvýšených tlaků či teplot. Tato vlastnost je velmi důležitá, protože pokud mazivo dokonale nepřilne k povrchu, zvýší se tření mezi těmito materiály společně se zvýšením opotřebení. Podrobnější dělení těchto aditiv je následující:

- aditiva zabraňující opotřebení (fosfátové sloučeniny),
- aditiva pro vysoké tlaky (sloučeniny chloru nebo síry),
- aditiva pro lepší přilnutí k povrchu (alkoholy, fenoly).

#### *Aditiva na zlepšení oxidační stability*

Aditiva na zlepšení oxidační stability se přidávají výhradně do maziv, kde je jako základový olej použit minerální olej. Minerální oleje, jak již bylo zmíněno, podléhají degradaci oxidací. Hlavní důsledek oxidace minerálních olejů a maziv na jejich bázi je značné zvýšení kyselosti a viskozity maziva, jak ukazuje graf v Obr.22. Tato změna vlastností maziva má za příčinu zvýšení tření a s ním spojené zvýšení opotřebení. Rychlost oxidace je ovlivněna především teplotou, druhem kovů v kontaktu a množstvím vody a kyslíku obsaženém v mazivu. Aditiva



Obrázek 22 Vliv oxidace na kyselost a viskozitu minerálních olejů [35]

na zlepšení oxidační stability, lze také rozdělit na základě toho, jakému druhu oxidace zabráňují:

- aditiva zabráňující oxidaci ve styku s kovy (např.: kyselina salicylová),
- inhibitory volných radikálů (jednoduché uhlovodíky),
- aditiva rozkládající peroxidy.

#### *Aditiva zabráňující korozi*

Inhibitory koroze, jak se nazývají tyto aditiva, slouží k zabránění vzniku koroze na výrobcích. V mazivech jsou rozpuštěny různé látky, jako jsou síra, fosfor, chlór, kyslík či voda, které způsobují korozi. Inhibitory koroze vytvoří na povrchu vrstvu, která zabráňuje reakci těchto látek s povrchem součástí. Nejsou určeny k trvalé ochraně proti korozi, avšak dovolují skladování hotových výrobků po dobu několika hodin až týdnů. Základní rozdělení těchto aditiv je:

- aditiva zabráňující korozi u neželezných kovů (např.: benzotriazol),
- aditiva zabráňující korozi u železných kovů (sulfáty, organické kyseliny).

#### *Aditiva zlepšující viskozitu maziva*

Spíše než zlepšení viskozity maziva, je jejich primární funkcí snížení poklesu viskozity v závislosti na zvyšující se teplotě. Jako aditiva zlepšující viskozitu oleje se používají polymery s vysokou molekulovou hmotností. Tyto polymery dokáží změnit svoji prstencovitou strukturu na lineární při působení vysokých teplot a zabránovat tak zhoršování viskozity.

#### *Aditiva proti kontaminaci maziva*

Mají za úkol zabránit růstu bakterií a hub, které způsobují zhoršování kvality maziva. Kontaminace se projevuje především výskytem nerozpustných částic, pěněním, ztrátou barvy, nepříjemným zápachem či ztrátou korozní odolnosti. Nejčastěji používaná aditiva proti růstu bakterií a hub jsou sloučeniny na bázi chlóru, dehtové kyseliny či některé alkoholy.

#### *Aditiva proti pění maziva*

Tato aditiva narušují nebo dokonce znemožňují tvoření nežádoucí pěny na mazivu. Jsou to sloučeniny na bázi silikonových polymerů. Velmi důležité je jejich dávkování, používají se v rozsahu asi 0,05-0,5 %, protože při překročení této meze jsou méně účinné.

### **3.5 Maziva pro tažení plechů [28], [42], [53]**

Maziva pro tažení plechů tvoří samostatnou skupinu tvářecích olejů. Maziva se při tažení plechů používají za účelem: zmenšení tvářecí síly, zamezení studeným svarům, prodloužení trvanlivosti nástrojů a zajištění předepsané tolerance výrobku. Při tažení plechů se však vyskytují i protichůdné požadavky na mazivo, jedná se např. o vysokou únosnost mazacího filmu na jedné straně a na straně druhé jeho snadnou odstranitelnost z důvodu následujících operací (svařování, lakování, lepení, ...). Při volbě maziva musíme také mít na zřeteli, že při tažení plechů se z důvodů vysokých tlaků vyskytuje smíšené až mezní tření. Při volbě maziva musíme brát také v úvahu teplotu a vývin tepla při samotném procesu.

Další významnou roli při volbě maziva hraje druh tvářeného materiálu. Požadavky na mazivo jsou vyšší při tažení nerezové oceli než hlubokotažné oceli. Nerezová ocel má totiž vyšší pevnost (vyšší tvářecí tlaky), horší teplotní odolnost a vodivost či vyšší náchylnost k zadírání. Požadavky na vzhled povrchu výtahů z nerezové oceli jsou zpravidla také vyšší než u hlubokotažných ocelí. Tloušťka materiálu a obtížnost (hloubka) tažení sehrává ve volbě maziva také důležitou roli.

Z výše uvedených důvodů je nutné věnovat velkou pozornost výběru maziva pro tažení plechů. Vhodně zvolené mazivo dokáže ušetřit i statisíce za opravu a odstávku strojů. Základním požadavkem pro mazivo určené pro tažení je jeho vysoká viskozita ( $60\text{--}600\text{ mm}^2/\text{s}$  při  $40^\circ\text{C}$ ), únosnost mazací vrstvy a jeho snadná odstranitelnost. Pro většinu tažných operací tvoří základ ropný olej s vysokým obsahem aditiv, která významně zlepšují vlastnosti oleje. Mezi nejvýznamnější z nich patří vysokotlaká aditiva, která zlepšují únosnost mazací vrstvy, a přísady na zlepšení viskozity maziva. Dále se do maziva na základě druhu operace přidávají aditiva zabraňující korozi, pěnění a aditiva pro usnadnění odstranitelnosti maziva. Po zvolení vhodného maziva musí být zaměřena pozornost také na jeho skladování a čištění, aby nedocházelo k degradaci jeho vlastností a tím ztrátě účinnosti.

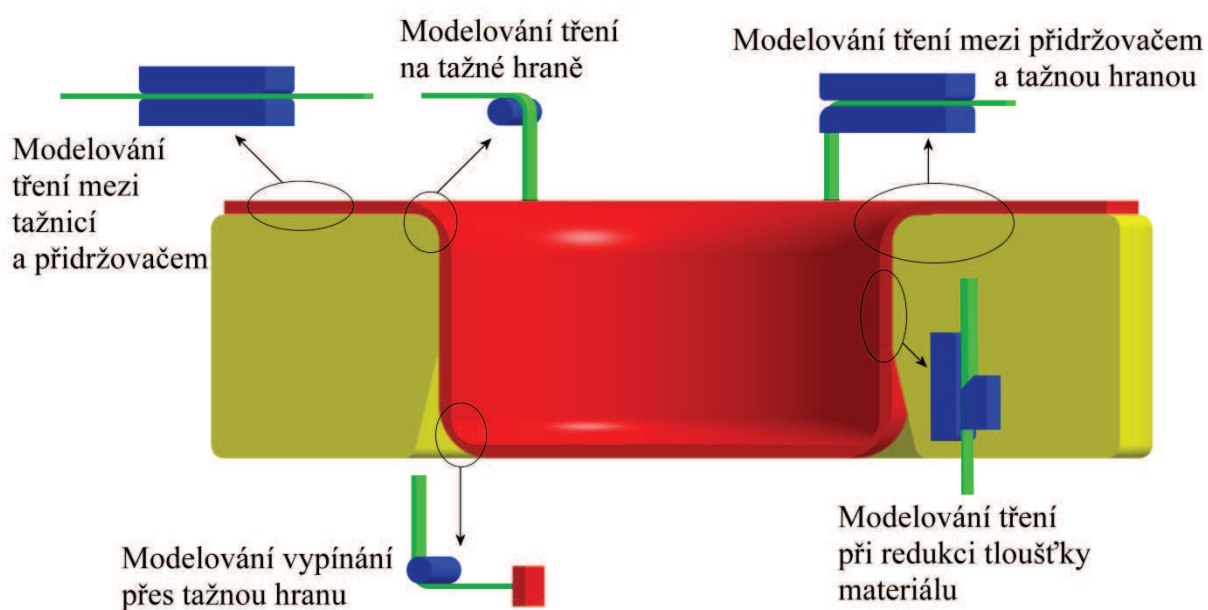


## 4 PŘÍPRAVKY PRO ZKOUŠENÍ MAZIV [4], [24], [25], [34]

Hluboké tažení plechů je považováno za jeden z nejsložitějších procesů plošného tváření. Tribologický systém hlubokého tažení ovlivňuje celá řada procesních parametrů. Třecí sílu během tažení nejvíce ovlivňují:

- ✓ *mikrogeometrie povrchu* (drsnost a druh povrchové textury),
- ✓ *materiál nástroje a jeho povrchová úprava* (chemické složení, typ povlaku),
- ✓ *materiál polotovaru a jeho mechanické vlastnosti* (hlubokotažná ocel, nerezová ocel, Al slitina, ...),
- ✓ *rychlost deformace*,
- ✓ *velikost kontaktních tlaků*,
- ✓ *druh použitého maziva*,
- ✓ *atd.*

Postihnout všechny tyto parametry při návrhu zkušebního přípravku je velice obtížné. Z těchto důvodů byla vyvinuta celá řada tribologických testů, které ovšem pokrývají jenom určitou oblast procesu hlubokého tažení. Vybrané zkoušky jsou uvedeny na Obr.23 společně s oblastí, kterou simulují. V těchto zkouškách se především vyhodnocuje velikost třecí síly při relativním pohybu vzorku plechu. Podrobnější rozbor jednotlivých metod je rozveden v dalších kapitolách.

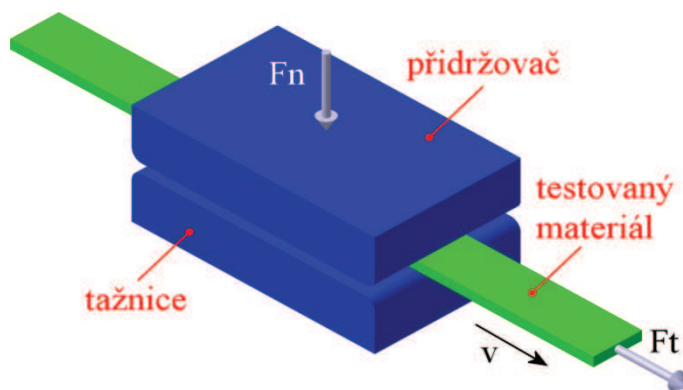


Obrázek 23 Druhy zkoušek a oblasti jejich zkoušení [4]

### 4.1 Modelování tření mezi tažnicí a přidržovačem [4], [24], [25], [34]

Jednou z nejrozšířenějších zkoušek je zkouška tření mezi přidržovačem a tažnicí. Jedná se o poměrně jednoduchou zkoušku. Poprvé ji zveřejnil ve své práci Wojtowitz, spočívá v protahování pásku plechu z testovaného materiálu mezi čelistmi, které mají přesně definovanou geometrii. Princip této zkoušky je uveden na Obr.24. Zkoušku lze například modifikovat zvýšením teploty čelistí, aby přesněji odpovídala samotnému procesu.

Mezi největší výhody tohoto testování patří jeho jednoduchost, protože k vyhodnocení tření stačí pouze konstrukčně jednoduchý přípravek. Parametry zkoušky (velikost zatížení  $F_n$ , rychlosti protahování pásku) se dají také velice jednoduše měnit a také měření tažné síly  $F_t$  společně s výpočtem koeficientu tření jsou snadno dosažitelné. Další nesporná výhoda tohoto testu je to, že není nutná odstávka výroby součástky, která může znamenat poměrně velké finanční ztráty. Na druhou stranu samotný proces zkoušky nedostatečně simuluje samotný proces tváření. Napjatost vzorku neodpovídá napjatosti materiálu při výrobě a také plastická deformace pásku není tak výrazná. Na velikost tažné síly má také zásadní vliv úprava hrany při vstupu pásku mezi čelisti.

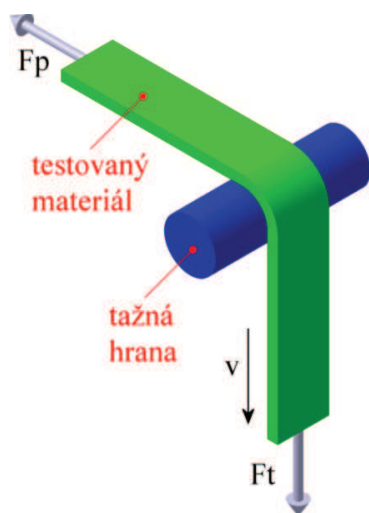


Obr. 24 Modelování tření mezi tažnicí a přidržovačem [34]

Další nesporná výhoda tohoto testu je to, že není nutná odstávka výroby součástky, která může znamenat poměrně velké finanční ztráty. Na druhou stranu samotný proces zkoušky nedostatečně simuluje samotný proces tváření. Napjatost vzorku neodpovídá napjatosti materiálu při výrobě a také plastická deformace pásku není tak výrazná. Na velikost tažné síly má také zásadní vliv úprava hrany při vstupu pásku mezi čelisti.

#### 4.2 Modelování tření na tažné hraně [4], [24], [25], [34]

Testy pro modelování tření na tažné hraně zásadně přispívají k pochopení tribologických podmínek při hlubokém tažení. Způsob měření tření na tažné hraně spočívá ve vyhodnocení dvou testů následujících po sobě. První měření probíhá měřením sil při tažení pásku plechu přes pevně uchycený váleček, druhé tažením pásku přes volně uložený váleček, který se může otáčet a nedochází tak ke skluzu po válečku. Váleček v tomto testu reprezentuje tažnou hranu, má tedy i stejný poloměr a je zhotoven ze stejného materiálu. Vzorek je tažen přes váleček konstantní rychlostí  $v$ . Stejně, jako v předešlé metodě, se velikost tření vyhodnocuje pomocí velikosti tažné síly  $F_t$ , která je ovlivněna brzdící silou  $F_p$  a velikostí opásání na tažné hraně a mechanickými vlastnostmi vzorku. Princip metody je znázorněn na Obr.25.

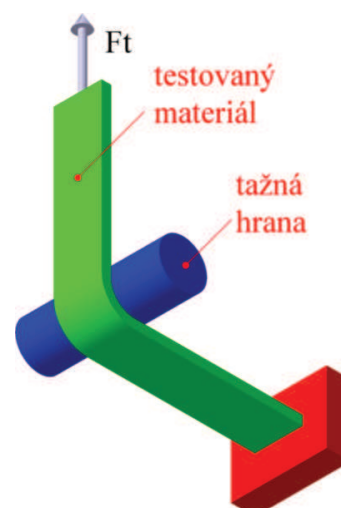


Obrázek 25 Modelování tření na tažné hraně [24], [34]

Výhodou této metody je její jednoduchost a snadná nastavitelnost rychlosti tažení vzorku. Zkouška také poskytuje lepší výsledky, které jsou ovšem zaměřené pouze na oblast tažení přes tažnou hranu. Nevýhodou je nutnost zjištění síly potřebné k ohnutí a narovnání pásku plechu, což komplikuje celý proces zkoušení. Dále je také obtížné zaručit konstantní kontaktní tlak vzorku plechu na váleček. Proto je nutné dbát na podmínky testu, aby nedocházelo k velkému rozptylu výsledků.

#### 4.3 Modelování vypínání přes tažnou hranu [4], [24], [25], [34]

Modelování vypínání přes tažnou hranu simuluje tribologické podmínky v oblasti zaoblčení na čele tažníku. Princip testu spočívá stejně jako modelování tření na tažné hraně v tažení



Obrázek 26 Modelování vypínání přes tažnou hranu [34]

pásku přes kovový váleček. Na rozdíl od předchozí metody je však jeden konec pevně uchycen a druhá strana pásku je upnuta do čelistí viz. Obr.26 a je tažena konstantní rychlostí přes váleček. Váleček má přesně definovaný poloměr, který má stejnou velikost jako zaoblení na čele tažníku. Tření se i zde zjišťuje přepočtem z velikosti tažné síly  $F_t$ . Pásek se táhne tak dlouho až se dosáhne předem zvolené deformace ve vzorku.

Výhoda spočívá v poměrně přesném zjištění tribologických podmínek na čele tažníku. Stejně jako u předchozí metody i zde je konstrukce přípravku na zkoušení poměrně jednoduchá a levná. Nevýhodou je také i zde poměrně složité udržení konstantního tlaku na tažné hraně.

#### 4.4 Modelování tření při redukci tloušťky materiálu [4], [24], [25], [34]

Mezi poměrně rozšířené zkoušky také patří modelování tření při redukci tloušťky materiálu. Zkouška

simuluje tažení plechu se ztenčením stěny. Test spočívá v redukci tloušťky plechu pomocí rotačního nebo nerotačního nástroje. Testovaný vzorek je zde

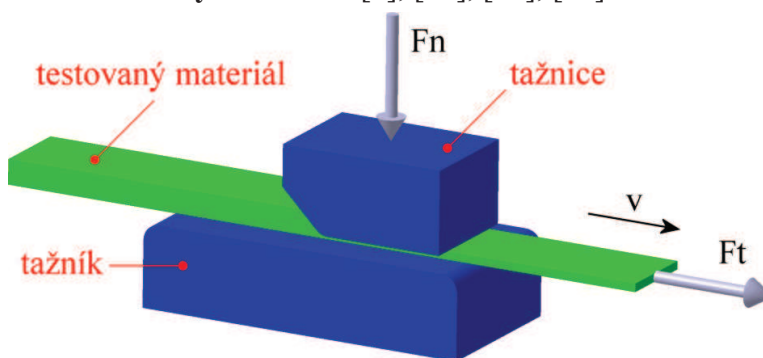
upnut do čelistí a protahován přes nástroj. Tribologické podmínky jsou zde kvantifikovány z drsnosti povrchu protaženého vzorku. Princip zkoušky je znázorněn na Obr.27.

Zkouška poskytuje snadné a rychlé zjištění vhodnosti materiálu a použitého maziva pro tažení se ztenčením stěny. Nevýhodou je ovšem velké opotřebení zkoušejícího nástroje, který má trvanlivost obvykle okolo 4 zkoušek. Nástroj se proto konstruuje tak, aby se mohl po skončení trvanlivosti pootočit, stejně jak je tomu například u břitových destiček v obrábění.

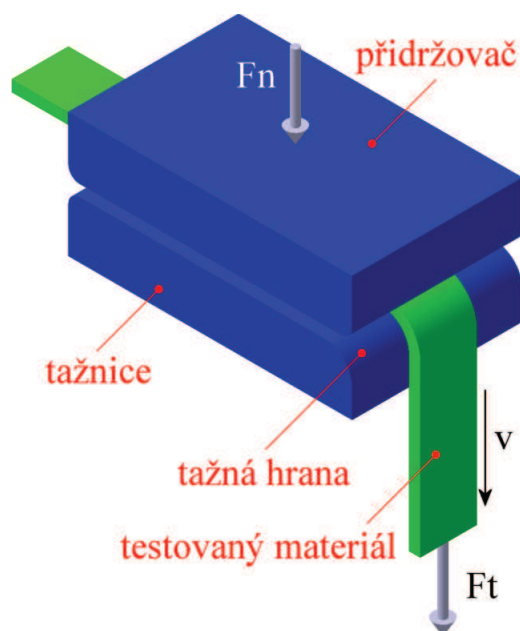
#### 4.5 Modelování tření mezi přidržovačem a tažnou hranou [4], [24], [25], [34]

Oproti předchozím uvedeným metodám, tato metoda již nesimuluje pouze určitou oblast v technologii hlubokého tažení. Jedná se totiž o kombinaci modelování tření mezi tažnicí a přidržovačem a zároveň modelování tření na tažné hraně. Princip metody na Obr.28. je obdobný jako u předchozích metod, kdy je pásek upnut v čelistech a následně tažen silou  $F_t$ . Vyhodnocení zde probíhá přepočtem ze známé síly na protažení pásku.

Výhoda je především v tom, že i při své nevelké náročnosti na konstrukci poskytuje komplexní pohled na tribologické podmínky v procesu hlubokého tažení. U této metody lze poměrně snadno nastavit i procesní podmínky (tažnou rychlost a přitlačnou sílu  $F_n$ ), což dává poměrně širokou oblast podmínek zkoušení.



Obrázek 27 Modelování tření při redukci tloušťky materiálu [34]



Obrázek 28 Modelování tření mezi přidržovačem a tažnou hranou [24], [34]

## 5 PŘÍPRAVA EXPERIMENTU

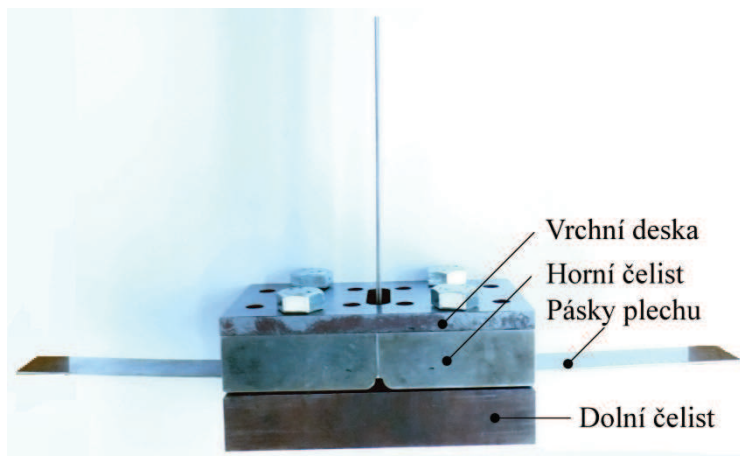
Pro experimentální zkoušení jednotlivých maziv, bylo nejprve nutné zvolit vhodný zkušební přípravek, který bude věrně simulovat tvářecí proces. Další problematikou bylo vhodné nastavení zkušebních podmínek a výběr zkoušených maziv a materiálů.

### 5.1 Konstrukce zkušebního přípravku

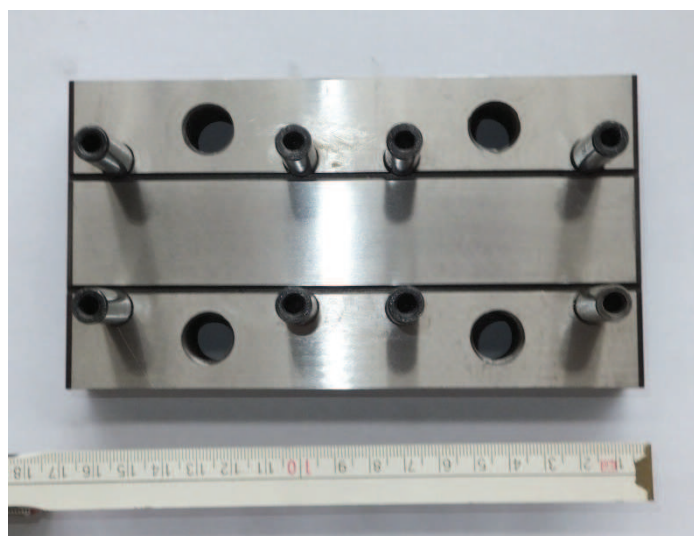
Přípravek byl konstruován tak, aby simuloval tření mezi přidržovačem a plechem, ale také tření plechu na tažné hraně. Při návrhu konstrukce zkušebního přípravku byla zohledněna řada různých faktorů. Největší pozornost byla kladena na to, aby přípravek co nejvěrněji simuloval současný proces výroby součásti a jeho snadnému nastavení. Jako nejvhodnější zkušební přípravek byl zvolen přípravek na modelování tření

mezi přidržovačem a tažnou hranou. Přípravek byl vyroben dle výrobních výkresů přiložených na konci této práce. Samotný přípravek se skládá ze čtyř hlavních dílů (dolní čelisti, dvou horních čelistí a vrchní desky) a pomocné skříně, která slouží k upnutí ke zkušebnímu stroji. Na Obr.30 je zobrazen sestavený přípravek, který je připraven na zkoušení.

Výhoda u tohoto zkušebního přípravku spočívá především v jeho snadném a rychlém nastavení pracovních podmínek. I přes svou jednoduchost, zkoušení maziv pomocí tohoto přípravku, poskytuje objektivní zhodnocení výsledků testování různých druhů maziv. Podstatou zkušebního přípravku je tažení ohnutých pásek plechu mezi čelistmi přípravku. Na pásky plechu i zkušební přípravek bude nanese zkoušené mazivo a na základě předem nastavené přidržovací síly bude zaznamenána síla, vyvinutá zkušebním strojem, potřebná na protažení zkušebním přípravkem za konkrétních podmínek a u konkrétního maziva.



Obrázek 30 Sestavený přípravek

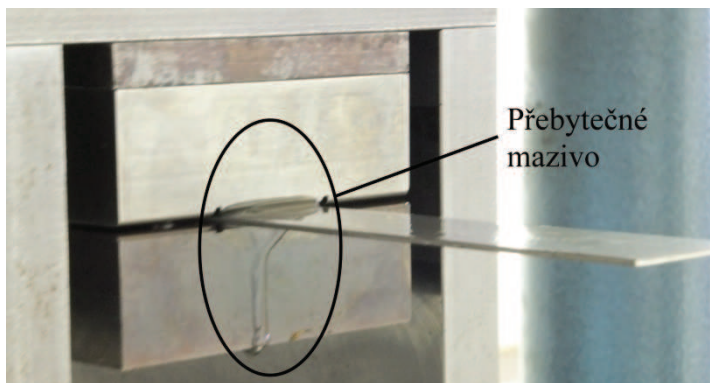


Obrázek 31 Dolní čelist přípravku



První částí zkušebního přípravku je dolní čelist viz. Obr.31. Tento díl představuje přidržovač, je tedy zhotoven ze stejného materiálu. Jedná se o nástrojovou ocel 1.2379 (dle ČSN 19 573) zušlechtěnou na minimální tvrdost 60 HRC. Celková délka dolní čelisti je 170 mm a její šířka 92 mm. Tloušťka dolní čelisti je 30 mm, aby zaručila její dostatečnou tuhost. Pásek zde bude tažen po ploše o šířce 32 mm, která je ohraničená dvou milimetrovými drážkami po celé délce.

Tato plocha je leštěná na drsnost Ra 0,2, stejně jako plocha přidržovače simulovaného procesu. Drážky kolem této plochy přesně definují její velikost, která je zásadní pro výpočet potřebného utahovacího momentu. Dále zde drážky plní funkci odlehčení, aby nedocházelo k případnému poškrábání leštěné plochy hranami protahovaných pásků.



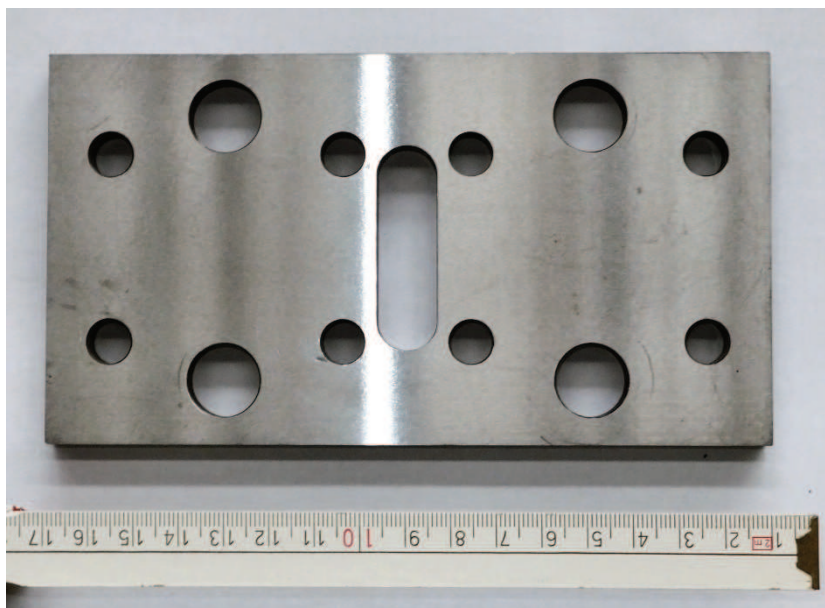
Obr. 32 Funkce koncového rádiusu na čelistech přípravku. Jelikož zkoušení bude probíhat za poměrně vysokých přidržovacích sil, jsou hrany opatřeny rádiusem R1, aby nedocházelo k zařezávání čelisti do plechu případnou ostrou hranou. Celková šířka leštěné plochy po odečtení rádiusů z obou stran činí 30 mm. Na obou koncích zkušebních ploch je náběhový rádius R2. Tento rádius umožňuje snadné a postupné zavádění pásku plechu do přípravku a také slouží jako „stěrač“ přebytečného maziva naneseného na těchto páscích, což je zobrazeno na Obr.32. V dolní čelisti je celkem osm průchozích děr o průměru 10 mm, ve kterých jsou pevně zalisovány kolíky s vnitřním závitem ISO 8735 o délce 70 mm. Pozice a velikost děr jsou tolerovány, aby byla zaručena bezproblémová montáž. Kolíky zde slouží částečně i k vedení plechu, který by mohl během procesu zkoušení vybočit. Další čtyři díry symetricky umístěné ve spodní čelisti jsou opatřeny závitem M16 pro šroub, kterými se bude vyvozovat přidržovací síla.



Obrázek 33 Horní čelist přípravku

Další částí je horní čelist (Obr.33), která je rozdělena z důvodu vyrobitelnosti do dvou identických dílů, které dohromady mají stejnou velikost jako čelist dolní. Horní čelist představuje tažnici a je také vyrobena z nástrojové oceli 1.2379 zušlechtěné na minimální tvrdost 60 HRC. Tloušťka horní čelisti je 30 mm. Každá ze dvou částí je také opatřena

leštěnou zkušební plochou o drsnosti  $Ra\ 0,2$ , kterou ohraničují drážky ve vzdálenosti 32 mm. Na prvním konci zkušební plochy je náběhový rádius  $R2$ . Druhý konec je opatřen rádiusem  $R6$ , který má stejnou velikost jako zaoblení hrany tažnice v simulovaném procesu hlubokého tažení. Na tomto konci je vyrobena drážka o hloubce 2 mm a šířce 40 mm, která umožňuje průchod ohnutého plechu k upínacím čelistím zkušebního stroje. Poloha



Obrázek 34 Vrchní deska přípravku

horní čelisti je zajištěna pomocí kolíků zalisovaných v dolní čelisti a čtyř tolerovaných průchozích děr o průměru 10 mm v každé části horní čelisti tak, aby zkušební plochy měly stejnou polohu. V každém dílu jsou také zhotoveny dvě díry o průměru 17 mm pro průchod šroubu.

Poslední částí zkušebního přípravku je vrchní deska viz. Obr.34. Tato deska je také vyrobena z nástrojové oceli 1.2379. Její rozměry jsou identické s dolní čelistí, ovšem tloušťka je pouze 10 mm. Má zde zajišťovat rovnoměrné rozložení sil od šroubů na oba díly horních čelistí. Z důvodu vysokého namáhání desky od šroubů, je vrchní deska kalena na minimální tvrdost 60 HRC, aby nedocházelo k jejímu otlacení během zkoušení. Uprostřed této desky je otvor, který umožňuje průchod tažených pásků plechu.

Celý přípravek je uchycen do zkušebního stroje pomocí skříně Obr.35. Vnitřní rozměry skříně jsou 124 x 125 mm a délka je 160 mm. Tato skříň má uchycenou svou spodní část na pracovní stůl zkušebního stroje. Uchycení se realizuje pomocí závitové tyče. Skříň také umožňuje vložení žíhací dečky, která umožňuje ohřívat přípravek na požadovanou pracovní teplotu. Po umístění a zapojení žíhací dečky může být do skříně vložen smontovaný přípravek s pásky plechu, na kterých je nanášeno zkoušené mazivo. Celá skříň se následně uzavře vrchním dílem připevněným šesti šrouby M10. Ve vrchním dílu jsou vytvořeny otvory pro hlavy šroubů v přípravku. Tyto díry jsou zde proto, aby nedocházelo k namáhání šroubů ani samotného dílu při zkoušení a tažná síla se rozložila na větší plochu.



Obr.35 Skříň

## 5.2 Zkoušená maziva [16], [17], [18], [21], [22], [32], [41], [44], [45], [46], [47], [48], [49], [50], [51], [52]

Na testování se podařilo získat celkově 14 maziv od 4 různých výrobců a původní mazivo používané firmou ACO. Maziva jsou od různých výrobců z Evropy, Ameriky a Asie. Hustota maziv se pohybuje v rozmezí  $0,87 - 1,25 \text{ g/cm}^3$ . Jedná se především o maziva o vyšších viskozitách. Obvykle je totiž tloušťka vrstvy maziva přímo úměrná viskozitě maziva, takže maziva o vyšší viskozitě lépe oddělují povrchy součástí a zlepšují účinnost maziva v procesu. Největší viskozitu dosahují maziva IRMCO 980 080, MARTOL 405 CF a WISURA ZW 3356. Většina maziv má poměrně nízkou hodnotu bodu vznícení, proto jsou určena zejména pro tváření za studena, kde je nebezpečí jejich vznícení minimalizováno.

Tab. 10 Srovnání vybraných charakteristik testovaných maziv

Název maziva	Výrobce	Barva	Hustota (20°C) [g/cm <sup>3</sup> ]	Viskozita (40°C) [mm <sup>2</sup> /s]	Bod vznícení [°C]
PROLONG 50-12	TRIGA	nazelenalá	1,05 – 1,25	40 – 100	180
ATLAS 140	Quaker Chemical	hnědá	1,05	143	160
ETIRELF TRS 48	TOTAL	mléčná	0,96	49	250
IRMCO 980 080	IRMCO	jantarová	1,06	493	nehořlavý
IRMCO 980 146	IRMCO	jantarová	1,11	116	nehořlavý
MARTOL EP 180	TOTAL	tm. hnědá	1,04	180	200
MARTOL EP 235 CF	TOTAL	hnědá	0,92 – 0,94	200 – 250	200
MARTOL 405 CF	TOTAL	hnědá	0,96 – 0,96	400	250
MARTOL SOLUBE 130	TOTAL	hnědá	1,03	140 – 120	100
RENOFORM 19 B	FUCHS	tm. hnědá	0,97	19	195
RENOFORM 96	FUCHS	tm. hnědá	0,92	39	182
WISURA ZW 3356	FUCHS	hnědá	0,92	370	180
YUSHIRON FORMER FE205D	YUSHIRO	hnědá	0,95	53	180
LACTUCA MS 9000	TOTAL	žlutá	0,95	74	-
VALONA ST 5022	TOTAL	žlutá	0,87	22	250
VALONA ST 9037	TOTAL	jantarová	0,89	38 - 46	250

## **PROLONG 50-12**

Mazivo PROLONG 50-12 je v současnosti používáno pro výrobu vpusti ve firmě ACO. Mazivo vyrábí firma TRIGA se sídlem v České republice. Výrobce doporučuje používání maziva pro náročnější operace v oblasti tažení, lisování a stříhání konstrukčních materiálů především však korozivzdorných ocelí.

Mazivo PROLONG 50-12 je vysokotlaké parafinické mazivo olejové konzistence s přísadou aditiv na bázi vázaného chlóru. Dále mazivo obsahuje vysokotlaká aditiva, aditiva EXTRA EP/AW a také inhibitory koroze. Vlastnosti maziva jsou v Tab.10.

Jako hlavní přednosti maziva výrobce uvádí jeho vysokou trvanlivost a stabilitu, maximální pevnost olejového filmu, zaručenou kvalitu povrchu výrobku a obsah vysoce produktivních EP/AW přísad.

## **ATLAS 3374-140**

Mazivo ATLAS 3374-140 vyrábí firma Quaker Chemical se sídlem v USA. Jedná se o univerzální mazivo určené pro těžké tvářecí operace, zejména pro tváření za studena a protahování. Mazivo je určeno pro tváření různých druhů ocelí. Základní informace o mazivu jsou v Tab.10.

ATLAS 3374-140 je syntetické mazivo bez obsahu sloučenin na bázi chlóru. Pro zlepšení vlastností maziva jsou zde použity vysokotlaká aditiva (estery) a aditiva proti opotřebení (sloučeniny na bázi síry).

Výhody maziva ATLAS 3374-140 podle výrobce jsou jeho vysoká mazací schopnost, výborná smáčivost povrchů a použití při extrémně vysokých tlacích. Mazivo lze odstranit pomocí odmašťovačů na vodní bázi. Mezi další výhody patří jeho stabilita i za zvýšených provozních teplot

## **ETIRELF TRS 48**

Mazivo ETIRELF TRS 48 vyrábí firma TOTAL se sídlem ve Francii. Jedná se o univerzální mazivo určené jak pro tvářecí tak pro obráběcí operace. Mazivo je určeno zejména pro práci s tvrdými oceli a hliníkovými slitinami. Srovnání s ostatními mazivy je v Tab.10.

Mazivo ETIRELF TRS 48 je vodou ředitelný aktivovaný minerální olej bez obsahu aditiv na bázi chlóru či formaldehydu. Jako aditiva jsou zde použita především vysokotlaká aditiva, u kterých výrobce neuvádí jejich chemické složení.

Mazivo ETIRELF TRS 48 je homologováno firmou RENAULT (jako PX 3390). Dle výrobce má výbornou mazivost a také chladicí schopnosti. Mazivo je také lehce odstranitelné pomocí alkalických luhů či solvantů.

## **IRMCO 980 080 a 980 146**

Maziva IRMCO 980 080 a 980 146 vyrábí firma IRMCO se sídlem v USA. Maziva jsou zaměřena speciálně na hluboké tažení, ale pokrývají širokou oblast tažených materiálů. Tyto maziva lze uplatnit v různých koncentracích pro hluboké tažení uhlíkových ocelí, hliníku a jeho slitin, nerezových ocelí, titanu.

Maziva IRMCO jsou maziva na vodní bázi bez obsahu oleje. Hlavní složka obsažená v obou mazivech je triethanolamin (TEA). Jeho obsah tvoří 25 % v mazivu 980 080 a 17% v mazivu 980 146. Ostatní složky maziva nejsou firmou zveřejňovány. Dostupné informace o mazivech jsou shrnuty v Tab.10.

Mezi největší přednosti těchto maziv řadí firma jeho ekologičnost a tím snížení nákladů na zacházení s odpady. Lze je odstranit pouze vodou nebo středním alkalickým prostředkem. Maziva také vytváří tenký film na nástroji a tím snižují spotřebu samotného maziva a náklady na nástroje. Další výhodou je možnost svařování bez předchozího očištění výlisku.



## **MARTOL – SOLUBE 130, EP 180, EP 235 CF, EP 405 CF**

Maziva řady MARTOL vyrábí firma TOTAL se sídlem ve Francii. Maziva jsou určena pro různé tvářecí operace s různou obtížností. Zaměřují se na tváření železných kovů popřípadě hliníkových slitin. Bližší informace o těchto mazivech jsou uvedeny v Tab.10.

Mazivo MARTOL SULUBE 130 je vodou ředitelná mazací kapalina s obsahem chlorovaných parafinů a aditiv pro podporu použití ve směsi s vodou. Doporučená koncentrace je 5 až 20 %.

Mazivo MARTOL EP 180 je minerální sulfochlorovaný olej. Do oleje se přidávají vysokotlaká aditiva (aditiva na bázi síry s chlorovanými parafiny), mastné složky vylepšující mazivost a aditiva na prodloužení životnosti. Obsah chlorovaných parafinů v mazivu je maximálně 50 %.

Maziva MARTOL EP 235 CF a MARTOL EP 405 CF jsou vyrobena z minerálních olejů s nízkým obsahem polyaromatických uhlovodíků bez přísad na bázi chlóru. Aditiva, použita na zlepšení vlastností maziv, uváděná výrobcem jsou mazivostní, antioděrová a vysokotlaká.

Jako výhodu u řady maziv MARTOL výrobce uvádí jejich dobré vysokotlaké vlastnosti. U olejů MARTOL 235 CF a 405 CF také jejich nezávadnost vůči přírodě, při zachování vysoké výkonnosti. Dále také tato maziva snižují opotřebování tvářecího nástroje a jsou stabilní za provozu. Maziva lze odstranit pomocí horkých louhů či solvantů.

## **RENOFORM 19 B a RENOFORM 96**

Maziva RENOFORM vyrábí firma FUCHS se sídlem v Německu. Maziva jsou určena pro tváření kovů, zejména pro lisování, přesné stříhání a hluboké tažení. Maziva jsou určena pro zpracování ocelí, od uhlíkových po vysoce legované (Cr, Ni, Mo a V)

Maziva RENOFORM jsou vodou nemísitelné tvářecí kapaliny s vysokým obsahem zlepšujících přísad, které ovšem výrobce blíže nespecifikuje. Mazivo RENOFORM 96 navíc neobsahuje žádný chlór a nevznikají tedy problémy s jeho likvidací. Podrobnější informace o mazivu jsou obsaženy v Tab.10.

Přednosti maziv RENOFORM podle výrobce jsou především jejich univerzálnost použití, vynikající smáčivost povrchů kovů, ochrana povrchů proti korozi a jejich snadná odstranitelnost pomocí vodných nebo alkalických přípravků.

## **WISURA ZW 3356**

Mazivo WISURA ZW 3356 vyrábí firma FUCHS se sídlem ve Francii. Toto mazivo je určeno pro obtížnější operace v oblasti tváření kovů. Mazivo je určeno pro zpracování austenitických korozivzdorných ocelí.

Mazivo WISURA ZV 3356 je vysoce výkonná kapalina s obsahem vysokotlakých aditiv. Mazivo neobsahuje žádný chlór, ani těžké kovy, takže nevznikají problémy s jeho následnou likvidací. Dostupné informace o mazivu jsou uvedeny v Tab.10.

Mazivo je podle firmy FUCHS speciálně určeno pro tváření korozivzdorných ocelí, kde dosahuje vynikajících výsledků. Je určeno pro výtažky obtížných tvarů. Mazivo se dá jednoduše odstranit pomocí vodných alkalických roztoků.

## **YUSHIRON FORMER FE205D**

Yushiron Former FE205D je mazivo vyráběné firmou Yushiro Chemical Industry Co., Ltd se sídlem v Japonsku. Výrobce doporučuje používání tohoto maziva pro tváření za studena, zejména pro operace jako je přesné vystříhování, válcování a hluboké tažení. Mazivo lze použít pro tváření různých druhů ocelí – uhlíkových, legovaných i nerezových.

Mazivo Yushiron Former FE205D je mazací kapalina s obsahem uhlovodíků. Součástí složení jsou i aditiva na zlepšení vlastností maziva, jako jsou aditiva na bázi síry a speciální

aditiva, u kterých výrobce neudává jejich složení. Toto mazivo není určeno k vytváření emulze s vodou a používá se v koncentraci přímo od výrobce. Vlastnosti maziva jsou uvedeny v Tab.10.

Jako výhody tohoto maziva výrobce uvádí jeho mnohostranné možnosti využití ve tvářecích operacích. Mezi uváděné výhody patří i nulový obsah chlóru a sloučenin na této bázi a s tím spojené nízké náklady na nakládání s odpady. Mazivo má také vysoký bod vzplanutí a je bez zápachu, což zaručuje bezpečné a příjemné pracovní podmínky.

### LACTUCA MS 9000, VALONA – ST 5022 a ST 9037

Maziva LACTUCA MS 9000, VALONA ST 5022 a VALONA ST 9037 jsou maziva určená pro nejnáročnější obráběcí operace (řezání závitů, hluboké vrtání, atd.) především železných materiálů. Dostupné informace o mazivech jsou v Tab.10.





Maziva byla doporučena firmou TOTAL jako možná alternativa pro proces hlubokého tažení nerezových plechů, především z důvodu jejich dobré mazivosti při obrábění a také z důvodu obsahu vysokotlakých a protioděrových aditiv.

### 5.3 Korozivzdorná ocel [6]

Korozivzdorné oceli mají širokou oblast využití díky jejich vysoké korozní odolnosti, mechanickým vlastnostem a také dobrému vzhledu. Používají se od potravinářského, přes strojírenský, až po stavební průmysl.

Korozivzdorné oceli patří do skupiny ušlechtilých legovaných ocelí s maximálním obsahem uhlíku 1,2 %, které mají přesné chemické složení. Typický pro korozivzdorné oceli je zvýšený obsah chromu, který se pohybuje obvykle od 12 % (až do 30 %). Chrom obsažený v oceli vytvoří na povrchu tzv. pasivační vrstvu  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ , která zabráňuje korozi materiálu. Dalšími legujícími prvky jsou Ni (až 30 %), Mn (až 24 %), Mo či Cu. Typické jsou také snížené obsahy S a P, které se pohybují do 0,03 %.

Korozivzdorné oceli lze rozdělit do 4 hlavních skupin, na základě jejich struktury:

-  **Martenzitické** (nejtvrdší, křehké, magnetické, tepelně zpracovatelné),
-  **Feritické** (měkké, žáruvzdorné, nelze tepelně zpracovat, magnetické),
-  **Austenitické** (nejvyšší korozní odolnost, houževnaté, svařitelné),
-  **Duplexní** (pevné, houževnaté, obsahují feritickou i austenitickou fázi).

Chemické složení jednotlivých korozivzdorných ocelí ukazuje Tab.11.

Tab. 11 Chemické složení korozivzdorných ocelí [6]

Struktura	Feritická	Martenzitická	Austenitická	Duplexní
Cr[%]	12 – 30	12 – 18	17 – 25	12 – 25
C[%]	0,02 – 0,15	0,15 – 1,2	0,02 – 0,12	0,02 – 0,12
Ni [%]	-	-	8 – 35	4 -7
Mo[%]	0 – 4	-	0 – 7	0 – 3

Oceli používané pro výrobu vpusti ve firmě ACO jsou korozivzdorné oceli 1.4301 a 1.4404.

#### 5.3.1 Ocel 1.4301 [2], [20]

Ocel 1.4301 (ČSN 17 240, AISI 340) je základní korozivzdorná Cr-Ni ocel. Tento materiál se vyznačuje vynikající odolností proti korozi v běžných prostředích (voda, slabé kyseliny a alkálie, městské ovzduší) nezbytnou pro danou součást. Její korozní odolnost lze zvýšit leštěním. Tato ocel je také vhodná ke svařování, obsah uhlíku  $\leq 0,07\%$ , což je podstatné pro kompletování vpusti s ostatními komponenty. Svařuje se bez použití přídavného materiálu. Po svařování není nutná tepelná úprava. Ocel se používá do provozní teploty

350 °C, zároveň si také zachovává svoje mechanické vlastnosti i při snížených teplotách. Ocel 1.4301 je nekalitelná a nemagnetická. Chemické složení a mechanické vlastnosti jsou uvedeny v Tab.11.

Ocel 1.4301 je vhodná pro tváření za studena (tažení, ohýbání), se sklonem k deformačnímu zpevňování za studena. Používá se zejména v potravinářském, farmaceutickém, kosmetickém či stavebním průmyslu.

### 5.3.2 Ocel 1.4404 [2], [20]

Ocel 1.4404 (ČSN 17 349, AISI 316L) je korozivzdorná Cr-Ni-Mo ocel. Vyznačuje se zvýšenou odolností proti korozi v běžných, ale i chemických prostředích (slaná voda, kyseliny – mravenčí, octová, sírová). Obsah uhlíku do 0,03% zaručuje její bezproblémovou svařitelnost. Po svařování není nutné zařazovat tepelnou úpravu. S rostoucí teplotou klesají její mechanické vlastnosti, především mez kluzu  $R_{p0,2}$  a mez pevnosti  $R_m$ . Ocel 1.4404 je nekalitelná a nemagnetická. Její chemické složení a mechanické vlastnosti jsou uvedeny v Tab.12.

Ocel 1.4404 je vhodná ke tváření za studena (tažení, ohýbání), se sklonem k deformačnímu zpevňování. Používá se v prostředích s vysokým chemickým namáháním, jako je chemický průmysl, papírenský průmysl, svařované konstrukce v přímořských oblastech.

Tab. 12 Chemické a mechanické složení ocelí 1.4301 a 1.4404 [2,18]

Ocel	Chemické složení						Mechanické vlastnosti			
	C ≥ [%]	Si ≥ [%]	Mn ≥ [%]	Cr [%]	Mo [%]	Ni [%]	$R_m$ [MPa]	$R_{p0,2}$ [MPa]	A [%]	Žíhací teplota [°C]
1.4301	0,07	1,0	2,0	17,0	-	8,5	520	min. 210	45	1000
				– 19,0		– 10,5	– 720			– 1100
1.4404	0,03	1,0	2,0	16,5	2,0	11,0	520	min. 220	40	1000
				– 18,5	– 2,5	– 14,0	– 680			– 1100

### 5.4 Zkušební stroj [30]

Jako zkušební stroj pro zkoušení maziv byl zvolen stroj ZD 40, který je zobrazen na Obr.36. Stroj umožňuje zkoušení vzorků a jejich vlastností v tahu, tlaku a ohybu. Maximální síla, kterou stroj ZD 40 dokáže vyvinout má hodnotu 400 kN, což je postačující pro testování protahování pásků.

Zkušební stroj je vybaven inkrementálním snímačem polohy příčnicku s rozlišením 0,01 mm a snímačem síly s řídicí jednotkou EDC 60 o maximální odchylce 1%. Snímače jsou propojeny s počítačem, který je opatřen programem M-TEST v.1.7 umožňující vyhodnocení závislosti síly na dráze nebo na čase.



Obrázek 36 Zkušební stroj [30]

## 6 PROVEDENÍ EXPERIMENTU

Experimentální vyhodnocování jednotlivých druhů maziv probíhalo v laboratoři mechanických vlastností materiálů v areálu Fakulty strojního inženýrství VUT v Brně.

### 6.1 Vyvození přidržovací síly

Pro samotné zkoušení je zásadní nastavení správné přidržovací síly. Velikost přidržovací síly totiž výrazně ovlivňuje velikost síly tažné. Přidržovací tlak pro výrobu vpustí ve firmě ACO je  $p_p = 7 \text{ MPa}$ . Velikost zkušební plochy (viz. výkres DP-5061-2013-02) je:

$$S_z = 75 \cdot 30 = 2250 \text{ mm}^2 \quad (1.22)$$

Sílu potřebnou pro vyvození stejného přidržovacího tlaku při zkoušení lze vypočítat následovně:

$$F_{př} = p \cdot S_z = 7 \cdot 2250 = 15750 \text{ N} \quad (1.23)$$

Pro svou jednoduchost a také velmi nízkou finanční náročnost je u tohoto přípravku přidržovací síla dosahována pomocí šroubového spojení. Jelikož přidržovací síla (síla sevření) je poměrně značná, byly zvoleny šrouby M16 o vyšší pevnostní třídě 10.9. Maximální síla předpětí u tohoto šroubu je 45000 N. Velikost síly předpětí se dá kontrolovat několika způsoby. Nejspolehlivější a nejpřesnější je měření prodloužení šroubu, ovšem je velice náročné a v mnoha případech nerealizovatelné (např. u slepých děr). Dalším způsobem je utažení šroubu předem stanoveným utahovacím momentem za pomoci momentového klíče a pneumatického nebo elektrického utahováku. Poslední metodou je utahování známým počtem otáček, která vyžaduje znalosti těsného utažení šroubu. Pro svou rychlost a dostačující přesnost byla zvolena metoda utažení šroubu předem stanoveným utahovacím momentem pomocí momentového klíče. Uťahovací moment lze zjistit při znalosti síly předpětí a velikosti použitého šroubu. Velikost utahovacího momentu lze potom stanovit pomocí rovnice:

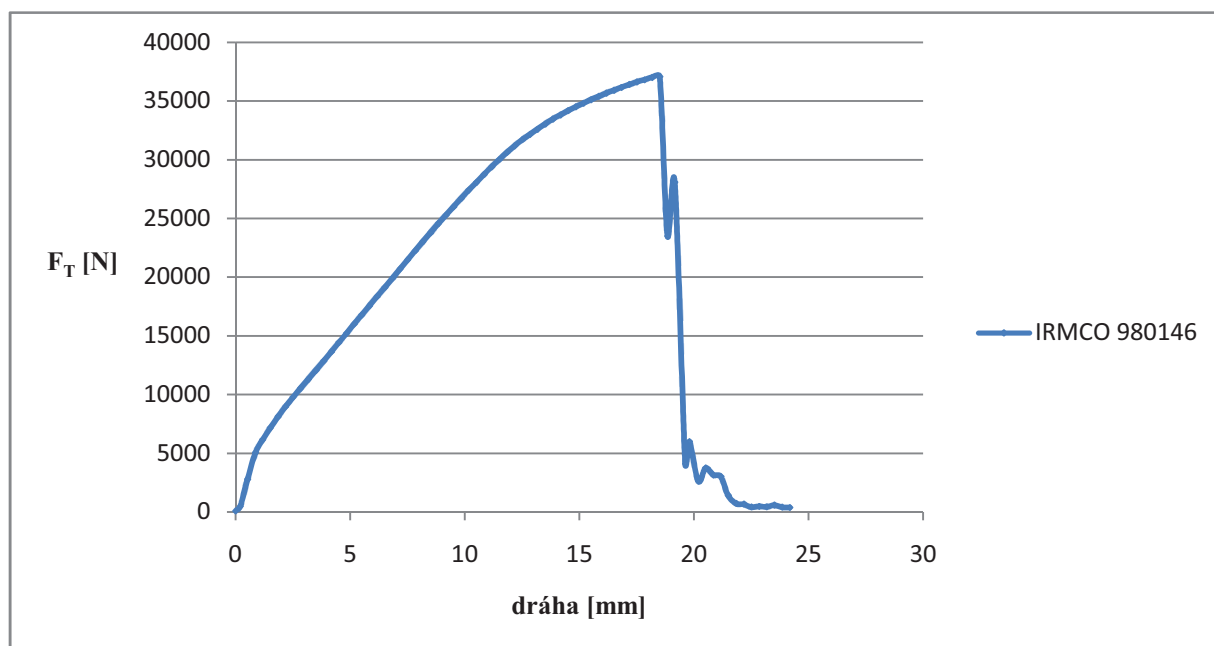
$$M = k_m \cdot F_{př} \cdot d_{šroub} = 0,2 \cdot 15750 \cdot 16 = 50400 \text{ N} \cdot \text{mm} \cong 50 \text{ Nm} \quad (1.24)$$

kde  $k_m$  je součinitel utahovacího momentu

[-]

$d_{šroub}$  je průměr šroubu

[mm]



Obrázek 37 Utržení závitové tyče

## 6.2 Výsledky zkoušení pro sníženou přidržovací sílu

Prvním testovaným mazivem bylo mazivo IRMCO 980 146. Utahovací moment použitý při tomto zkoušení měl dvojnásobnou velikost  $M = 100 \text{ Nm}$ , byla zde tedy použita dvojnásobná síla na přidržení. Závitová tyč, kterou byla upnuta skříň ke zkušebnímu zařízení, měla průměr 12 mm a pevnostní třídu 8.8. Výsledek zkoušení je na grafu na Obr.37. Došlo zde ke strmému nárůstu síly na vytažení pásků, která vedla k porušení upínací závítové tyče. Síla, kdy došlo k porušení závítové tyče, měla velikost 37 000 N.

Pro další zkoušení bylo tedy zapotřebí upravit parametry zkoušení tak, aby nedocházelo k dalšímu poškození upnutí přípravku ke zkušebnímu stroji ZD 40.

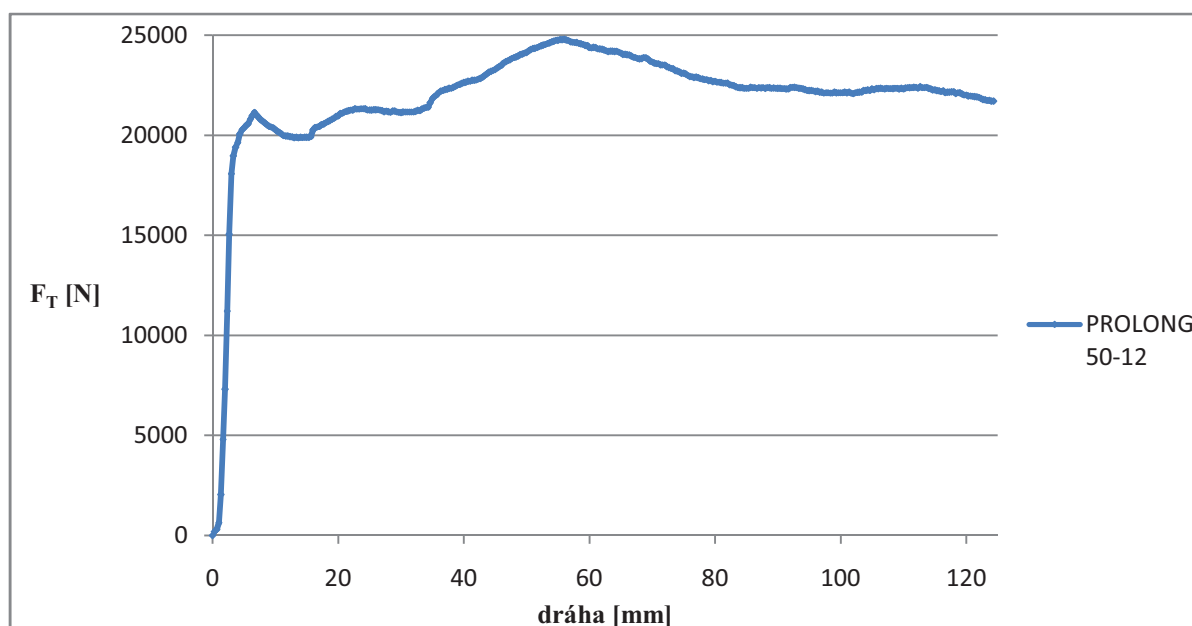
Pro následující zkoušení byla tedy použita závítová tyč o průměru 16 mm o pevnostní třídě 8.8. Další úpravou ve zkoušení bylo snížení velikosti utahovacího momentu, kterým byly utahovány šrouby vyvozující sílu sevření čelistí. Hodnota utahovacího momentu byla zvolena  $M = 20 \text{ Nm}$ . Síla přidržení pro toto testování lze stanovit z rovnice 1.25.

$$F_{př} = \frac{M}{k_m \cdot d_{šroub}} = \frac{20\,000}{0,2 \cdot 16} = 6250 \text{ N} \quad (1.25)$$

Pro tuto sílu přidržení byla postupně vyzkoušena všechna poskytnutá maziva.

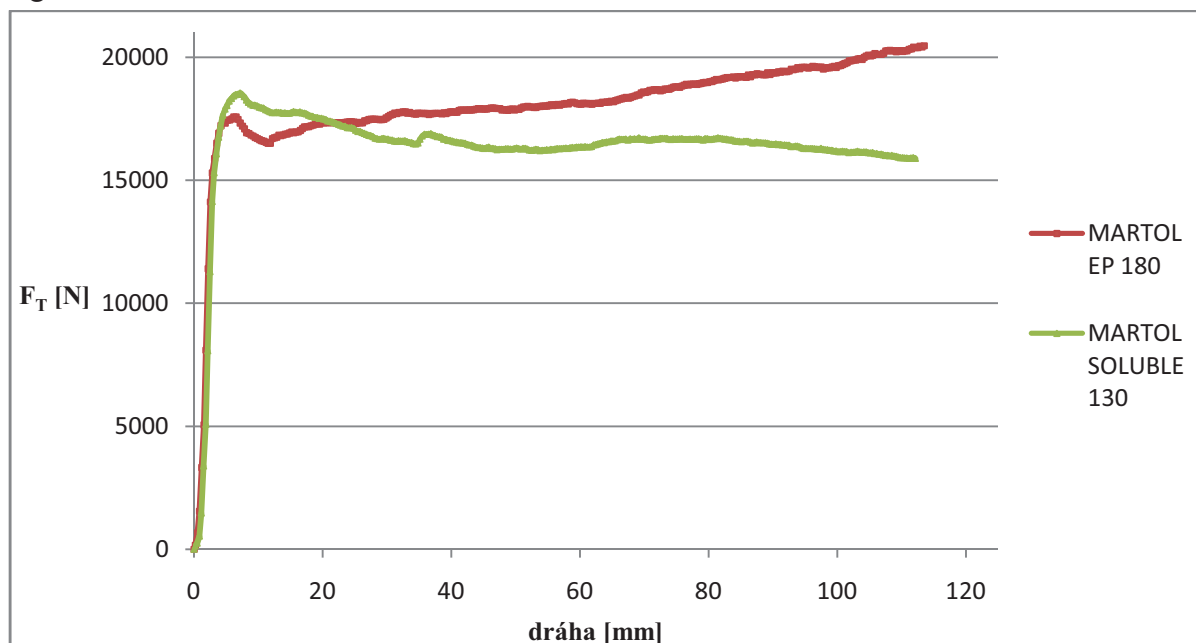
Rychlost tažení u všech zkoušek měla velikost 10 mm/min. Při této rychlosti bylo možné sledovat postupné vtahování pásků do přípravku a také bylo možné rychlé zastavení testu při zadrhávání pásků. Pro zkoušení byly použity, z důvodu velké časové náročnosti, pouze pásky plechu z materiálu 1.4301.

Jako referenční mazivo pro zkoušky maziv se sníženou přidržovací silou bylo použito mazivo PROLONG 50-12, které je současně používáno ve firmě ACO. Na základě výsledků testu tohoto maziva byly stanoveny kritéria pro posouzení vhodnosti ostatních maziv a případně zastavení jejich testování při extrémním nárůstu síly na vytažení pásků nebo jejich zadrhávání. Velikost síly na vytažení pásků opatřenými mazivem PROLONG 50-12 nepřekročila hodnotu 25 000 N. Ukončení testu tohoto maziva proběhlo, když délka tažení pásků dosáhla hodnoty okolo 120 mm. Velikost síly tažení zde jen mírně oscilovalo okolo hodnot 22 000-23 000 N. Celý záznam testu maziva PROLONG 50-12 je zobrazen v grafu na Obr.38.



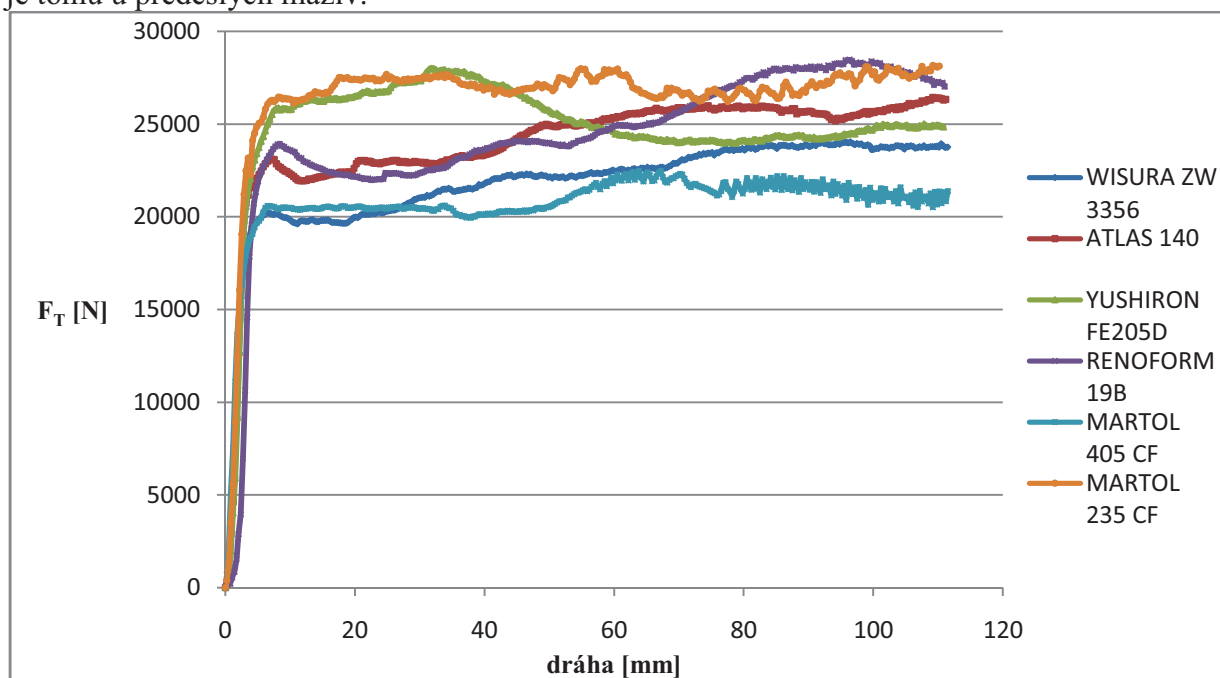
Obrázek 38 Výsledek zkoušení maziva PROLONG 50-12

Jako nejlepší maziva byla vyhodnocena maziva obsahující chlór nebo jeho sloučeniny. Konkrétně se jedná o maziva PROLONG 50-12, MARTOL EP 180 a MARTOL SOLUBLE 130. Na protažení pásků opatřených mazivou řady MARTOL nebyla dokonce zapotřebí vyšší síla tažení než 20 000 N. Tato maziva jsou ovšem kvůli obsahu chlóru ekologicky problematická a proto jim z důvodu zaměření diplomové práce nebude věnována další pozornost. Výsledky testování maziv s obsahem chlóru řady MARTOL jsou zobrazeny v grafu na Obr.39.



Obrázek 39 Maziva s obsahem chlóru

Graf na Obr.40 zobrazuje maziva, která se svými vlastnostmi přibližují nebo dokonce poskytují lepší výsledky než referenční mazivo PROLONG 50-12. Všechna tato maziva neobsahují chlór nebo jeho sloučeniny, a proto nepředstavují tak velkou ekologickou zátěž jak je tomu u předešlých maziv.

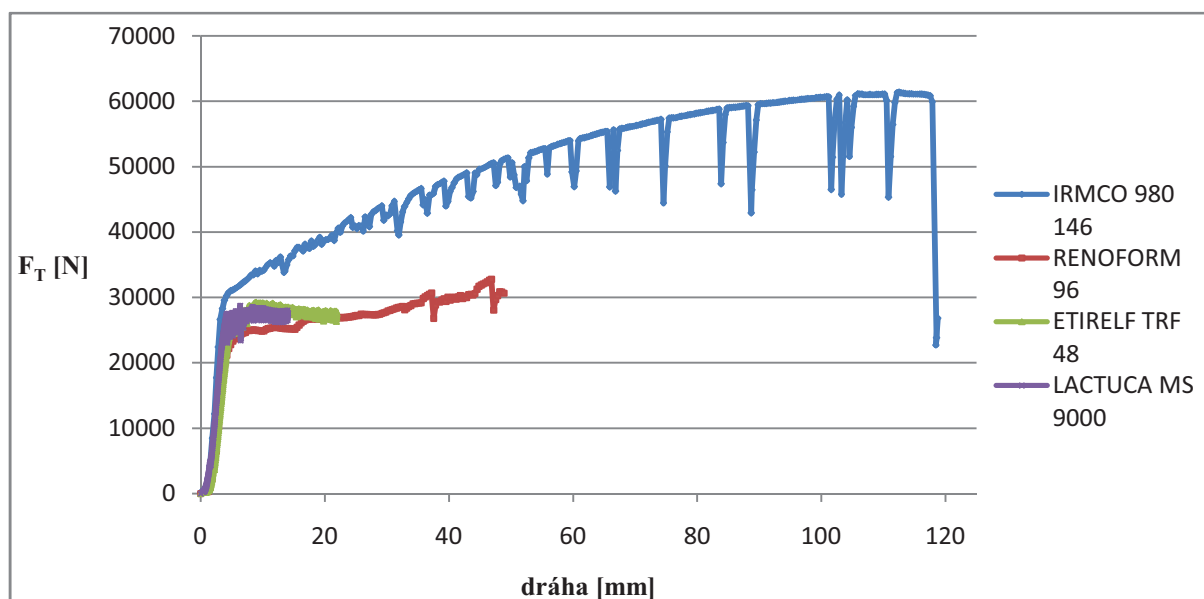


Obrázek 40 Maziva bez obsahu chlóru



Nejlepších výsledků pro sníženou přidržovací sílu dosáhlo mazivo WISURA ZW 3356. Po celou délku tažení u tohoto maziva nedocházelo k zadrhávání ani k jiným problémům. Mazivo nevykazovalo ani rapidní nárůst síly na vytažení pásků a dosáhlo maximální hodnoty  $F_t = 23800 \text{ N}$ , což je méně než u maziva PROLONG 50-12. U maziv řady MARTOL docházelo, dle záznamu na Obr.40, k jejich zadrhávání. Toto zadrhávání mohlo být způsobeno pravděpodobně nedostatečným nanesením maziva.

Graf na Obr.41 zobrazuje maziva, která nejsou vhodná pro daný typ tažení. U těchto maziv docházelo k brzkému výskytu zadírání a velkému nárůstu síly na vytažení pásků. U maziva IRMCO 980 146 došlo dokonce k přetržení jednoho z pásků plechu (Obr.41). Testování těchto maziv bylo zastaveno ještě před předem stanovenou délkou tažení a to především z důvodu možného poškození zkušebního přípravku i stroje.



Obrázek 41 Maziva nevhodná pro hluboké tažení oceli 1.4301

Souhrn výsledků všech maziv ukazuje Tab.13.

Tab.13 Porovnání testovaných maziv při snížené  $F_{př}$

Mazivo	$F_t$ [N]	Problémy při zkoušení
PROLONG 50-12	24 700	-
MARTOL SOLUBLE 130	18 300	-
MARTOL EP 180	20 400	-
MARTOL 405 CF	22 300	mírné zadrhávání
WISURA ZW 3356	24 400	-
ATLAS 140	26 300	-
YUSHIRON FE205D	27 800	-
MARTOL 235 CF	28 000	mírné zadrhávání
RENOFORM 19B	28 200	-
LACTUCA MS 9000	28 500	zadrhávání
ETIRELF TRF 48	29 300	zadrhávání
RENOFORM 96	32 700	zadrhávání
IRMCO 980 146	61 200	zadrhávání, utržení

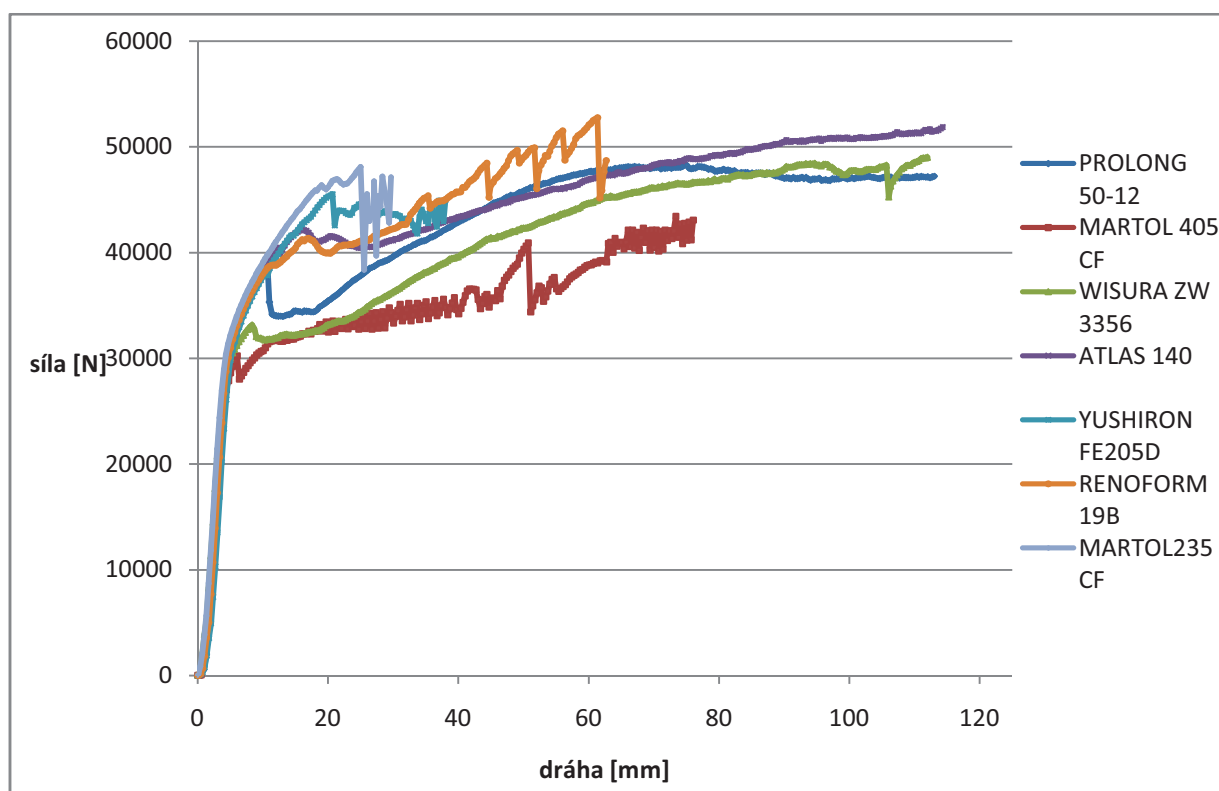
### 6.3 Výsledky zkoušení pro maximální přidržovací sílu

Pro druhé zkoušení byl zvolen utahovací moment  $M = 50 \text{ Nm}$ , který odpovídá přidržovacímu tlaku  $7 \text{ MPa}$ , používaném při výrobě součástí ve firmě ACO. Přidržovací síla vyvozená šrouby je rovna  $F_{\text{př}} = 15\,625 \text{ N}$ .

Do tohoto testu byla vybrána ta maziva, která vykazovala dobré mazací vlastnosti při prvním testování za snížené přidržovací síly  $F_{\text{př}} = 6250 \text{ N}$ . Vzhledem k zaměření diplomové práce již nebyla testována maziva s obsahem chlóru – MARTOL EP 180 a MARTOL SOLUBLE 130, i když jejich výsledky byly lepší než u maziva PROLONG 50-12. Z maziv které obsahují chlór, bylo použito pouze současně používané mazivo ve firmě ACO - PROLONG 50-12 a to především z důvodu porovnání s mazivy, která chlór neobsahují. Do testování pro maximální přidržovací sílu, byla také zařazena maziva skupiny MARTOL, která neobsahují chlór, i přes jejich mírné zadrhávání v testu se sníženou přidržovací silou.

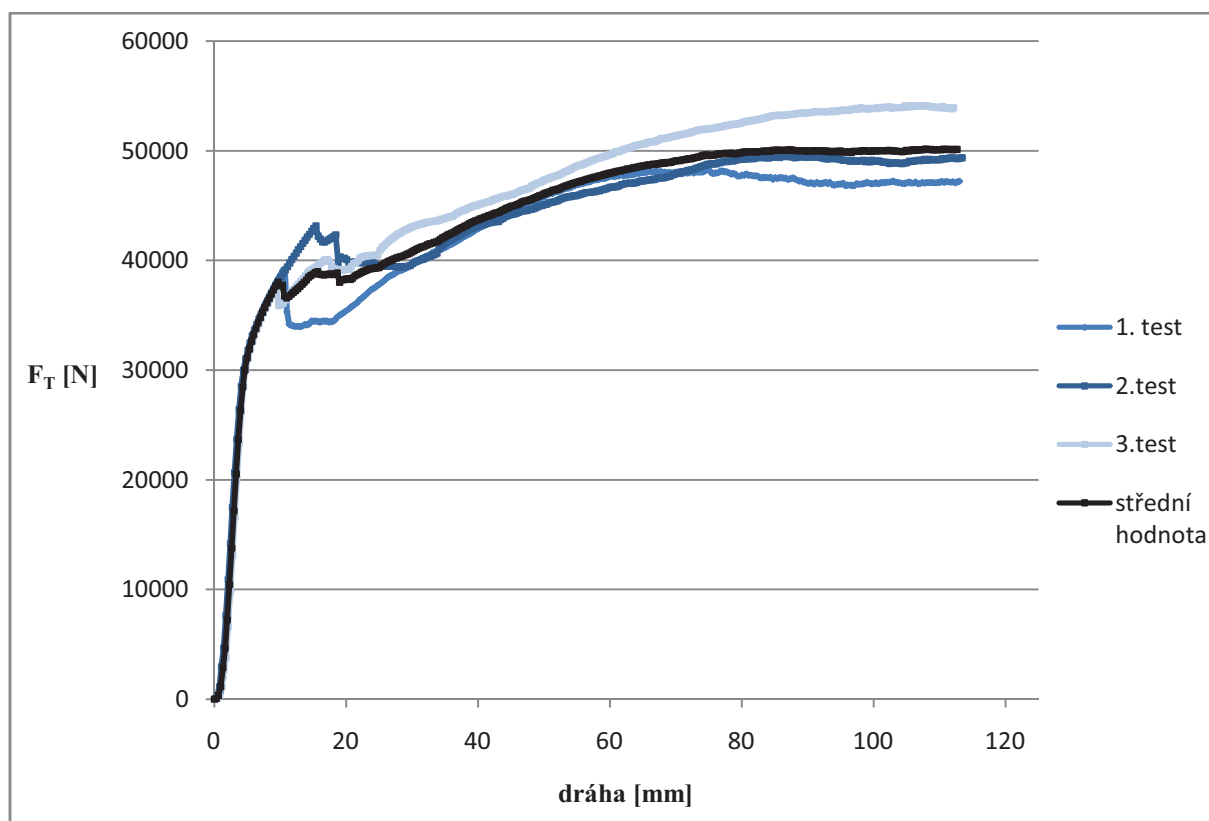
Délka vtahování pásků byla experimentálně stanovena na základě výsledků referenčního maziva PROLONG 50-12 na  $110 \text{ mm}$ . Rychlost tažení byla ponechána stejná jako u tažení se sníženou přidržovací silou a to  $100 \text{ mm/min}$ .

V grafu na Obr.42 jsou zaznamenány výsledky všech testovaných maziv pro maximální přidržovací sílu. Můžeme si zde všimnout, že síla na vytažení pásků zde dosahuje přibližně dvojnásobku síly pro vytažení pásků než v prvním testování. U maziv MARTOL 405 CF, MARTOL 235 CF, YUSHIRON a RENOFORM 19B docházelo k poměrně značnému zadrhávání ihned po začátku vtahování pásků, proto bylo jejich testování přerušeno a nepokračovalo se v dalším zkoumání, aby nedošlo k poškození přípravku.

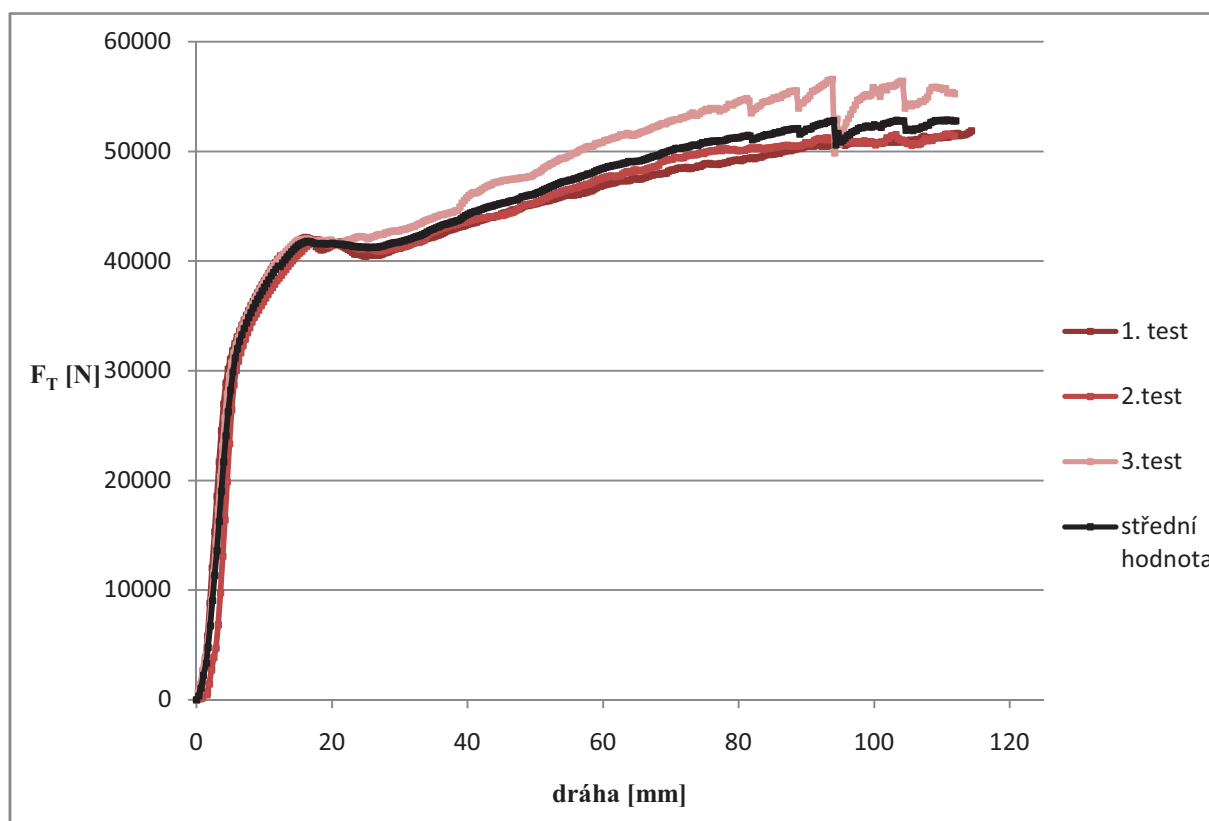


Obrázek 42 Maziva při plném zatížení

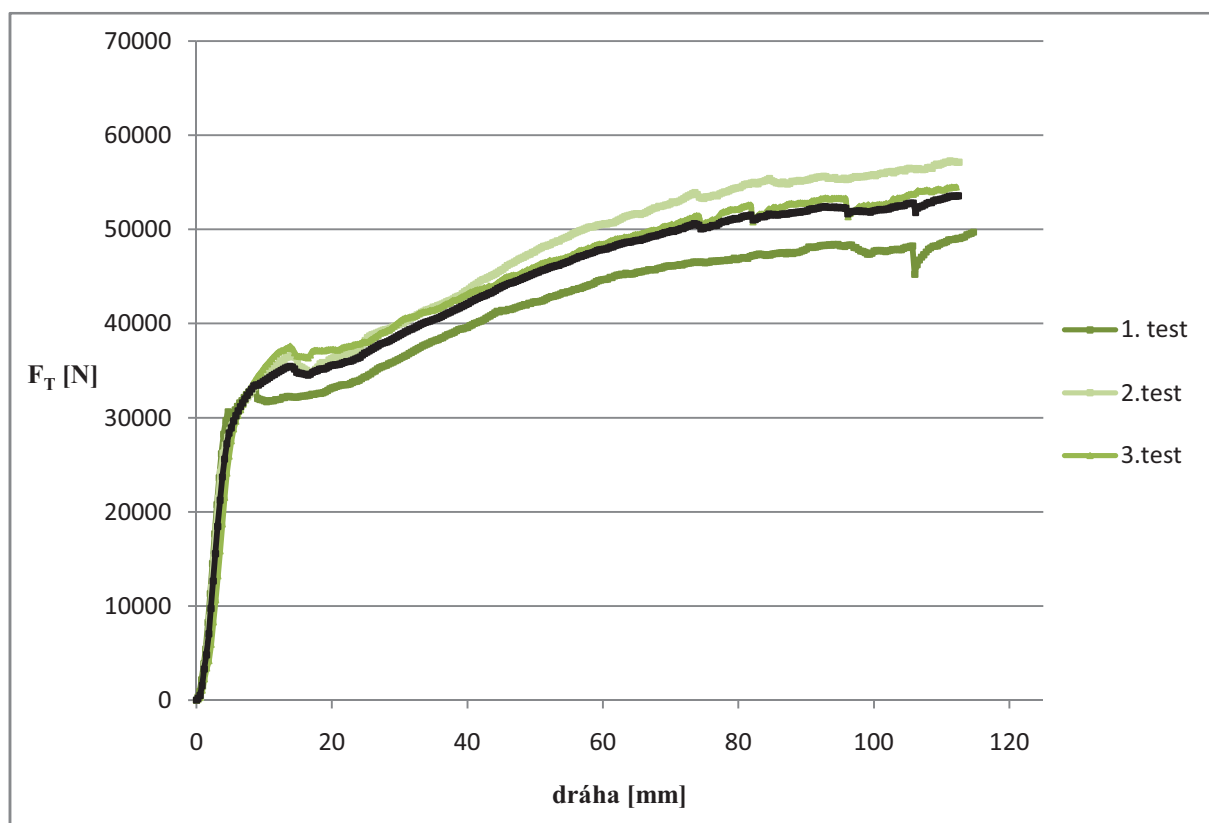
U maziv PROLONG 50-12, ATLAS a WISURA, která při zkoušení při maximální přidržovací síle nevykazovala známky zadrhávání byly provedeny další testy z důvodu ověření těchto výsledků. Grafy na Obr.43-45 zobrazují výsledky opakovaného zkoušení těchto maziv společně se střední hodnotou všech zkoušení.



Obrázek 43 Výsledky maziva PROLONG 50-12



Obrázek 44 Výsledky maziva ATLAS 140



Obrázek 45 Výsledky maziva WISURA ZW 3356

V praxi se také používá tažení s využitím igelitu místo maziva, proto bylo pro porovnání učiněno zkoušení právě s využitím igelitu. Oba pásy plechu byly opatřeny z obou stran igelitem

ustřižnutým

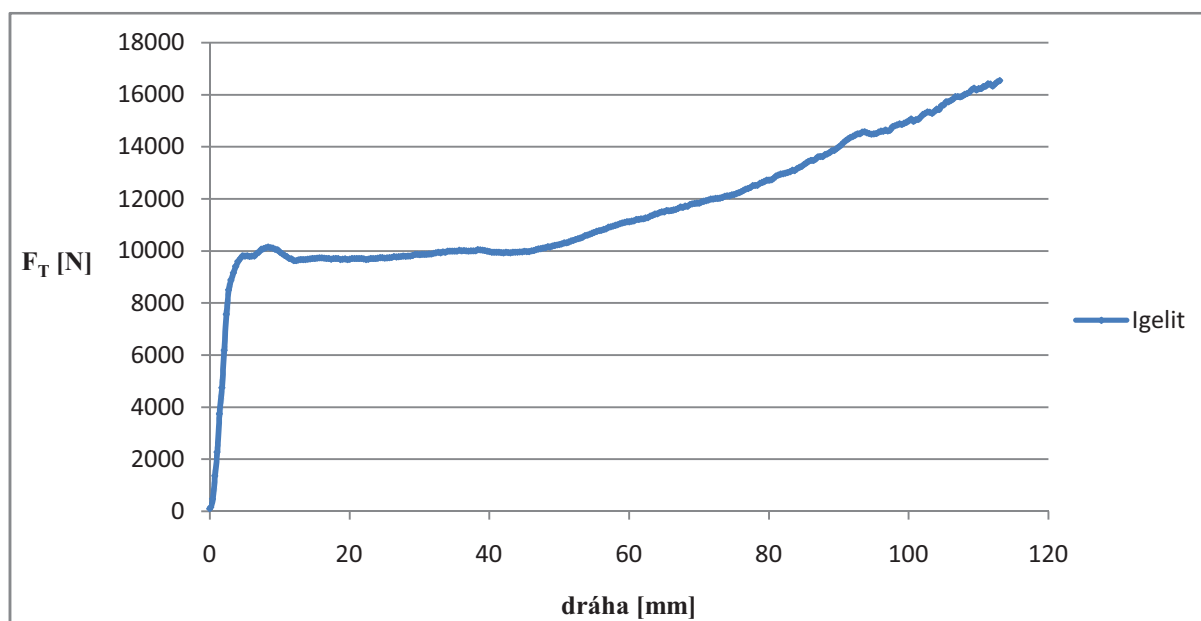
na požadovanou šířku viz. Obr.46.

Následně byl přípravek upnut do zkušebního zařízení a zkoušení probíhalo stejně, jako u zkoušení jednotlivých maziv. Záznam zkoušení je zobrazen v grafu na Obr.47. Jak je z grafu patrné, síla na protažení pásků je výrazně nižší než při použití maziv. Síla potřebná na

vytažení pásků se ustálila na hodnotě 10 000 N. Igelit nebyl k páskům plechu nijak připevněn a proto od délky tažení 50 mm docházelo k nárůstu síly na protažení pásků z důvodu shrnutí igelitu z těchto pásků a přímému styku plechů s povrchem leštěné zkušební plochy přípravku.



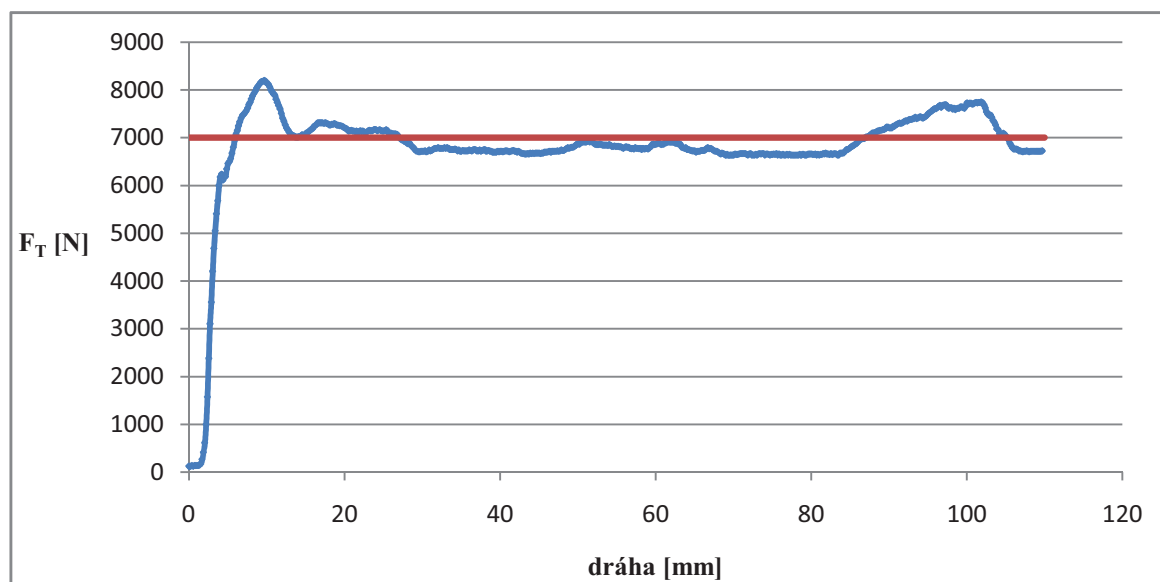
Obrázek 46 Sestavený přípravek s využitím igelitu



Obrázek 47 Výsledky testů s využitím igelitu

#### 6.4 Ohyb přes tažnou hranu

Záměrem tohoto zkoušení bylo zjištění velikosti síly, která je potřebná pro dvojitý ohyb pásků plechu přes tažnou hranu. Předehnuté pásky plechu, na které nebylo nanесeno žádné mazivo, byly vloženy do zkušebního přípravku. Na pásky nebyla vyvinuta žádná síla přidržení od šroubů. Tyto šrouby byly dotaženy pouze tak, aby umožnily sestavení přípravku. Následně byly pásky upnuty do zkušebního stroje a vyhodnocena síla potřebná pouze k ohybu přes tažnou hranu přípravku. Výsledky této síly jsou v grafu na Obr.48.



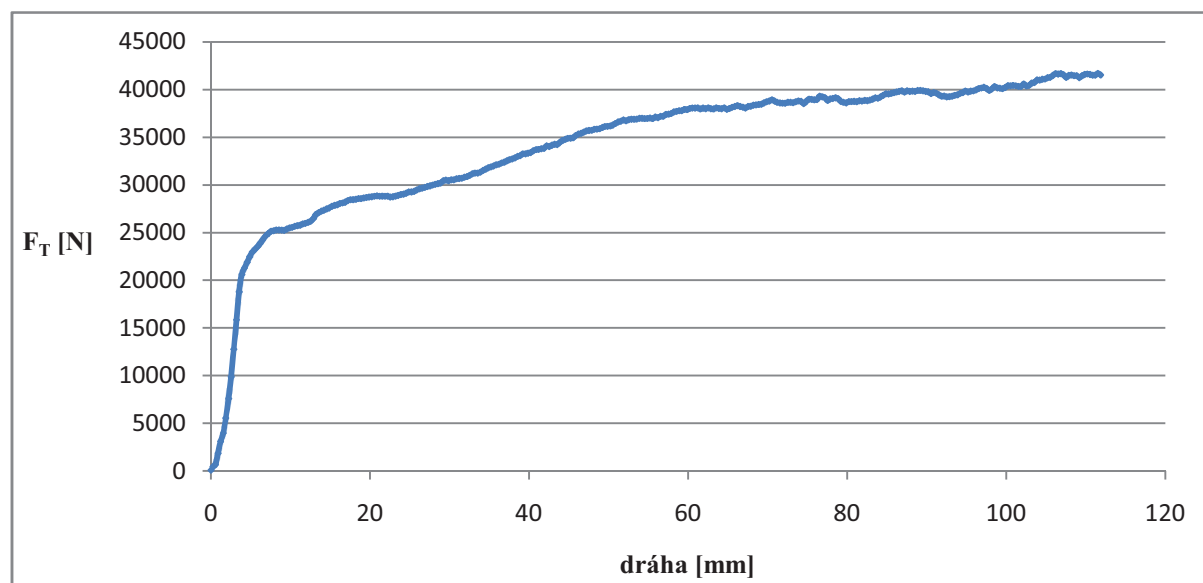
Obrázek 48 Síla na ohyb pásku plechu

Z grafu je patrné, že hodnota síly potřebná k ohybu pásku má strmý nárůst až do hodnoty pohybující se mírně nad 8000 N, kdy dojde k sesouhlasení poloměru zaoblání tažné hrany přípravku a poloměru ohybu u taženého pásku plechu. Hodnota síly se následně ustálí a mírně osciluje okolo hodnoty 7000 N. Síla potřebná na ohyb obou pásků ve zkušebním přípravku

pro nerezovou ocel 1.4301 má tedy hodnotu  $F_0 = 7000$  N. Pásky nebyly opatřeny žádným mazivem, hodnota síly potřebné pro ohyb je tedy pouze přibližná. Pro přesnější výsledky by bylo zapotřebí tuto sílu vyhodnotit pro každé mazivo zvlášť.

### 6.5 Velikost síly tažení na sucho

Pro orientační posouzení velikosti vlivu maziva na velikost tažné síly byl proveden test s pásky plechu, které nebyly opatřeny žádným mazivem. Tento test byl proveden na závěr zkoušení, aby nedošlo k ovlivnění zkoušení z důvodu poškození leštěných ploch při tomto testu. Na zjištění velikosti síly tažení při tažení na sucho bylo použito pouze snížené přidržovací síly  $F_{pr} = 6\,250$  N. Výsledky testu jsou zobrazeny v grafu na Obr.49.



Obrázek 49 Zkoušení na sucho



## 7 ZHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ

U všech zkoušených maziv docházelo ke strmému nárůstu síly, až do momentu, kdy došlo k samotnému vtahování těchto pásků. Nárůst síly je způsoben nutností překonání třecích sil mezi zkušebním přípravkem a pásky plechu. Na velikost této síly má také vliv síla potřebná na ohnutí pásků a sesouhlasení poloměru ručně ohnutého pásku plechu a poloměru zaoblení na tažné hraně přípravku. Při tomto nárůstu na provozní sílu nedochází ke vtahování pásků, ale pouze k jejich nepatrnému prodlužování viz. Obr.50. Tato deformace pásků má také vliv na velikost této síly. Velikost prodloužení se pohybovala od 2 % do 6 % z celkové délky zkoušeného pásku plechu.



Obrázek 50 Prodloužení pásku

Některá maziva neposkytovala dostatečné mazání při zkoušení a docházelo tedy k zadírání pásků v přípravku. Toto zadírání mělo značný vliv jak na velikost síly potřebné pro protažení pásků, ale i na vzhled protažených pásků. Na těchto páscích je možné pozorovat znatelné rýhy. Nerezové materiály se používají také z důvodu jejich lesklého vzhledu,

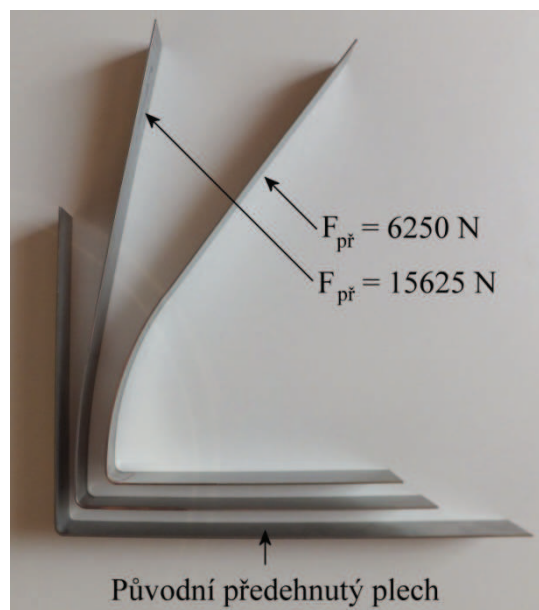


Obrázek 51 Poškrábání pásků plechu

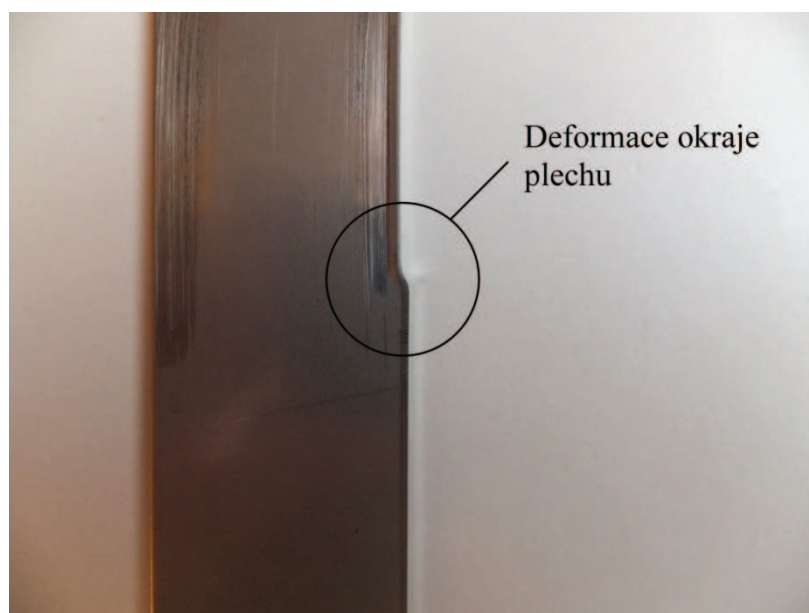
který byl tímto zadíráním znehodnocen. Poškození pásků plechu poškrábáním je zobrazeno na Obr.51. K poškození poškrábáním nedocházelo pouze u pásků plechu, ale i u samotného zkušebního přípravku, kde k největšímu poškrábání zkušební plochy došlo při protahování pásků bez použití maziva. Pro další provádění zkoušení by bylo tedy nutné tuto plochu přeleštit.

U pásků zkoušených za snížené přidržovací síly  $F_{př} = 6\,250\text{ N}$  je znatelné odpružení těchto pásků na rozdíl od pásků tažených za maximální přidržovací síly  $F_{př} = 15\,625\text{ N}$  jak ukazuje Obr.52. Tlak přidržení byl u těchto testů  $p_p = 2,8\text{ MPa}$  resp.  $p_p = 7\text{ MPa}$ . Tato skutečnost potvrzuje fakt, že se snižující se přidržovací silou resp. přidržovacím tlakem dochází k většímu odpružení materiálu a zvyšuje se riziko vzniku zvlnění nebo přeložek v oblasti příruby výtažku.

Při zkoušení s vyšší přidržovací silou  $F_{př} = 15\,625\text{ N}$ , docházelo k nežádoucí deformaci okrajů plechů. Plechy se deformovaly z důvodu nepřesného ohnutí zkoušených pásků plechu a jejich vybočování z dráhy zkušební leštěné plochy. Na rozdíl od snížené přidržovací síly, kdy tomuto vybočování zabránily kolíky, při maximální síle přidržení docházelo k přetvoření okrajů právě těmito kolíky jak



Obrázek 52 Odpružení pásků plechu



Obrázek 53 Deformace od vodících kolíků

ukazuje Obr.53. Toto přetvoření mohlo mít také vliv

na zadrhávání u jednotlivých maziv. Jelikož k této deformaci docházelo většinou v pozdější fázi zkoušení, nebylo pro vyhodnocení vhodnosti jednotlivých maziv zásadní.

## 7.1 Zhodnocení zkoušených maziv

Cílem diplomové práce bylo najít vhodné mazivo pro hluboké tažení nerezových plechů. Zároveň musela tato maziva být také ekologicky nezávadná. Současná maziva používaná na hluboké tažení plechů obsahují ekologicky problematické sloučeniny na bázi chlóru. Tyto sloučeniny jsou zde obsaženy především z důvodu vysokých tlaků používaných při výrobě těchto součástí.

Na záznamech ze zkoušení jednotlivých maziv je zřejmé, že maziva s obsahem chlóru nebo jeho sloučenin mají nejlepší mazací schopnosti. Obě zkoušená maziva MARTOL SOLUBLE 130 i MARTOL EP 180 dokonce vykazují ještě lepší vlastnosti než současně používané mazivo s obsahem chlóru PROLONG 50-12.

Z maziv, která neobsahují žádný chlór ani jeho sloučeniny, byla nejlépe vyhodnocena maziva WISURA ZW 3356 (FUCHS) a ATLAS140 (QuakerChemical), která poskytují

srovnatelné mazací schopnosti jako mazivo PROLONG 50-12 i při extrémním tlaku na přidržovači  $p_p = 7$  MPa. Maziva MARTOL 405 CF, MARTOL 235 CF (obě TOTAL), RENOFORM 19B (FUCHS) a YUSHIRON FE205D (YUSHIRO) poskytují dobré mazací schopnosti pouze při sníženém tlaku na přidržovači  $p_p = 2,8$  MPa, při zvýšeném tlaku již dochází k jejich výraznému zadrhávání.

Nejlepší výsledky vyhodnocované na základě velikosti síly potřebné na protažení pásků byly dosaženy v podmínkách, kdy byly pásky obaleny igelitem. Tato síla byla až pětinasobně nižší než síla potřebná na vytažení pásků opatřenými mazivem PROLONG 50-12 za stejných pracovních podmínek.

Jako nevhodná maziva pro hluboké tažení korozivzdorné oceli 1.4301 byla vyhodnocena maziva IRMCO 980 146 (IRMCO), ETIRELF TRS 48, LACTUCA MS 9000 (obě TOTAL) a RENOFORM 96 (FUCHS). Tato maziva se zadrhávala již při sníženém tlaku na přidržovači. U maziva IRMCO 980 146 docházelo k tak velkému zadírání, že došlo k přetržení zkoušených pásků plechu.

## 8 ZÁVĚR

Pro nalezení vhodného ekologického maziva pro hluboké tažení nerezových plechů bylo zvoleno experimentální zkoušení jednotlivých vzorků maziv. Po uvážení všech možných typů zkušebních přípravků pro zkoušení maziv bylo rozhodnuto, že optimální zkušební přípravek bude simulovat tření mezi přidržovačem a tření na tažné hraně. Toto provedení přípravku bylo zvoleno z důvodu jeho největší podobnosti se skutečným výrobním procesem hlubokého tažení plechů.

Pro výrobu zkušebního přípravku byly vypracovány výrobní výkresy tak, aby samotný přípravek splňoval všechny požadavky na něj kladené. Materiál zvolený pro výrobu přípravku byl stejný, i jeho tepelné zpracování, jako je materiál tažníku resp. tažnice v procesu výroby ve firmě ACO Příbyslav.

Od různých výrobců maziv, tuzemských i zahraničních, byla opatřena maziva vhodná pro daný způsob výroby a pro zkoušený materiál. Hlavním požadavkem na maziva byl jejich minimální, či nulový obsah sloučenin na bázi chlóru.

Maziva byla testována při snížené ( $F_{pr} = 6250 \text{ N}$ ) a maximální ( $F_{pr} = 15\,625 \text{ N}$ ) přidržovací síle. Na základě výsledků byla posouzena jejich vhodnost pro dané podmínky. Jako nejlepší maziva pro hluboké tažení korozivzdorné ocelí 1.4301 byla vyhodnocena ta maziva, která obsahují sloučeniny chlóru, které zde působí jako vysokotlaká aditiva. Mezi nejlepší maziva bez obsahu chlóru, která byla hlavním předmětem testování, se řadí mazivo ATLAS 3374-140 od firmy Quaker Chemical a WISURA ZW 3356 od firmy FUCHS. Velmi dobré výsledky vykazovalo také zkoušení s využitím igelitu místo maziva.

## Seznam použité literatury [8]

1. ABUŠINOV, Alexandr. Zvýšení hodnoty konstrukčních dílů tvářených z plechu. *MM Průmyslové spektrum*. Praha: SEND Předplatné s.r.o, 2006, č. 10, s. 14-16. ISSN 1212-2572.
2. ARMAT spol. s.r.o. *Specifikace nerezových materiálů* [online]. 1994-2011 [cit. 2013-05-10]. Dostupné z: <http://www.armat.cz/pdf/specifikace-nerezovych-oceli-chemicke-slozeni.pdf>
3. BAČA, Jozef, Jozef BÍLIK a Viktor TITTEL. *Technológiatvárnienia*. 1. vyd. Bratislava: Nakladateľstvo STU, 2010, 246 s. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-227-3242-0.
4. BAY, N., D.D. OLSSON, J.L. ANDREASEN a Taylan ALTAN. Lubricant test methodsforsheet metal forming. *Tribology International* [online]. 2008, roč. 41, 9-10, s. 844-853 [cit. 2013-03-04]. ISSN 0301679x. DOI: 10.1016/j.triboint.2007.11.017. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0301679X0700206X>
5. BLÁŠKOVITŠ, Pavel, Jozef BALLA a Marián DZIMKO. *Tribológia*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1990, 360 s., příl. ISBN 80-05-00633-0.
6. BRENNER, Otakar. Korozivzdorné oceli jako konstrukční materiály. *MM Průmyslové spektrum*. Praha: SEND Předplatné s.r.o, 2003, č. 4, s. 84-85.
7. BŘEZINA, Richard a Jiří PETRUŽELKA. *Úvod do tváření II*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2002, 113 s. ISBN 80-248-0068-3.
8. *Citace*[online]. 2013 [cit. 2013-05-11]. Dostupné z: <http://generator.citace.com/>
9. ČSN 22 6001. *Názvosloví technologie tváření kovů*. Praha: ÚNM, 1968.
10. DÁLIK, Peter. Plastické mazivá. *Tribotechnika*. 2009, č. 4, s. 60-63. ISSN 1338-0524. Dostupné z: [http://www.scribd.com/full/23057319?access\\_key=key-i4xwc55nl52sdpucrijv](http://www.scribd.com/full/23057319?access_key=key-i4xwc55nl52sdpucrijv)
11. DECKENBACH CZ S.R.O. *Převodová maziva a jejich použití*. České Budějovice, 1999. Dostupné z: [http://www.fina-oleje.cz/files/produkty/molyduval/prevodova\\_maziva.pdf](http://www.fina-oleje.cz/files/produkty/molyduval/prevodova_maziva.pdf)
12. DVORÁK, Milan. *Technologie tváření: plošné a objemové tvaření*. 2. vyd. Brno: CERM, 2007, 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
13. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
14. FOREJT, Milan a Luděk MÁDLE. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. Knižnice techn. aktualit. ISBN 80-214-2374-9.
15. FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. *Nástrojové oceli*. Brno: Dům techniky, 1994, 229 s.
16. FUCHS OIL CORPORATION. *RENOFORM 19B*. Stránčice, 2005.
17. FUCHS OIL CORPORATION. *RENOFORM 96*. Stránčice, 2007.
18. FUCHS OIL CORPORATION. *WISURA ZW 3356*. Stránčice, 2006.
19. HELLWIG, Waldemar a Erwin SEMLINGER. *Spanlose Fertigung: Stanzen*. 5., überarb. und erw. Aufl. Braunschweig: Vieweg, 1994. ISBN 35-284-4042-2.
20. INOX, spol. s.r.o. *Nerezové materiály* [online]. 2009 [cit. 2013-05-10]. Dostupné z: <http://www.inoxspol.cz/nerezove-materialy-druhy-vlastnosti-jakosti-inox-rubrika.html>
21. IRMCO. *IRMCO 980 080: Technický list*. Evaston (USA), 2012.
22. IRMCO. *IRMCO 980 819: Technický list*. Evaston (USA), 2008.
23. Jak vzniká hluk v ložiscích. CASTROL LIMITED. *Autoservis: Odborný magazín pro profesionály v autoopravárenství* [online]. 2012 [cit. 2013-03-04]. Dostupné z: <http://www.autoservismagazin.cz/casopis-autoservis/technicke-inovace-skf-jak-vznika-hluk-v-loziscich>



24. KIM, Hyunok, Ji Hyun SUNG, Rajesh SIVAKUMAR a Taylan ALTAN. Evaluation of stamping lubricants using the deep drawing test. *International Journal of Machine Tools and Manufacture* [online]. 2007, roč. 47, č. 14, s. 2120-2132 [cit. 2013-03-04]. ISSN 08906955. DOI: 10.1016/j.ijmachtools.2007.04.014. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0890695507001022>
25. KIM, Hyunok, Taylan ALTAN, Quingguang YAN a Taylan ALTAN. Evaluation of stamping lubricants in forming advanced high strength steels (AHSS) using deep drawing and ironing tests. *Journal of Materials Processing Technology* [online]. 2009, roč. 209, č. 8, s. 4122-4133 [cit. 2013-03-04]. ISSN 09240136. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2008.10.007. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924013608007279>
26. KOTOUČ, Jiří a Luděk MÁDLE. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Praha: ČVUT Praha, 1993, 349 s. Knižnice techn. aktualit. ISBN 80-010-1003-1.
27. LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření I*. Vyd. 1. Brno: Univerzita obrany, 2008, 105 s. ISBN 978-80-7231-579-6.
28. LYMAN, Taylor. *Metals handbook*. 8th ed. Metals Park: American Society for Metals, 1973, 16, 528 s.
29. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Brno: VUT Brno, 1992, 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
30. Odbor technologie tváření kovů a plastů. *Pracoviště a vybavení* [online]. 2005 [cit. 2013-05-10]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/pracoviste.htm>
31. Plastická maziva. *Tech magazín* [online]. 2011 [cit. 2013-03-04]. Dostupné z: <http://www.techmagazin.cz/261>
32. QUAKER CHEMICAL. *Quaker Atlas 3374-140*. 2010.
33. ROMANOVSKIJ, V. *Příručka pro lisování za studena*. Praha, 1959.
34. SOLFRONK, Pavel. *Tribologie* [online]. Liberec [cit. 2013-05-12]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud\\_materialy/ttv/tribologie.pdf](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/ttv/tribologie.pdf). Skriptum. TU Liberec.
35. STACHOWIAK, G a A BATCHELOR. *Engineering tribology*. 3rd ed. Amsterdam: Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005, xxiv, 801 s. ISBN 0-7506-7836-4.
36. STOPKA, Jozef. Syntetické maziva. *Tribotechnické informace*. Praha: TES, 2010, roč. 1, č. 2010, s. 16-17. ISSN 1212-0081.
37. SUCHÁNEK, Jan. Opatřování materiálů. *Tribotechnika*. 2009, roč. 2009, č. 4, s. 58-59. ISSN 1338-0524. Dostupné z: [http://www.scribd.com/full/23057319?access\\_key=key-i4xwc55nl52sdpucrjv](http://www.scribd.com/full/23057319?access_key=key-i4xwc55nl52sdpucrjv)
38. ŠAFR, Emil. *Technika mazání*. Praha: SNTL, 1970, 381 s.
39. ŠTĚPINA, Václav a Václav VESELÝ. *Maziva v tribologii: celoštátní vysokoškolská příručka pro vysoké školy technické*. 1. vyd. Bratislava: Veda, 1985, 406 s.
40. TATÍČEK, František, Tomáš PILVOUSEK a Martin KUBELKA. Akademie tváření: Hluboké tažení. *MM Průmyslové spektrum*. Praha: SEND Předplatné s.r.o, 2011, č. 11, s. 26-27. ISSN 1212-2572.
41. TECHOIL. *YUSHIRON FORMER FE205D*. Poříčí nad Sázavou, 2012.
42. TIŠNOVSKÝ, Miroslav a Luděk MÁDLE. *Hluboké tažení plechu na lisech*. 1. vyd. Praha: SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1990, 196 s. ISBN 80-03-00221-4.
43. TOTAL. *Plastická maziva*. 2008. Dostupné z: [http://www.madoil.cz/dodavatelsky-program/total/katalogy/Katalog\\_TOTAL\\_plasticka\\_maziva.pdf](http://www.madoil.cz/dodavatelsky-program/total/katalogy/Katalog_TOTAL_plasticka_maziva.pdf)
44. TOTAL LUBRIFIANTS. *Etirelf TRS 48*. Paris, 2008.



45. TOTAL LUBRIFIANTS. *LACTUCA MS 9000*. Paris, 2008.
46. TOTAL LUBRIFIANTS. *MARTOL EP 180*. Paris, 2012.
47. TOTAL LUBRIFIANTS. *MARTOL EP 235 CF*. Paris, 2010.
48. TOTAL LUBRIFIANTS. *MARTOL EP 405 CF*. Paris, 2005.
49. TOTAL LUBRIFIANTS. *MARTOL SOLUBLE 130*. Paris, 2011.
50. TOTAL LUBRIFIANTS. *VALONA ST 5022*. Paris, 2004.
51. TOTAL LUBRIFIANTS. *VALONA ST 9037*. Paris, 2005.
52. TRIGA. *PROLONG 50-12*. Praha, 2013.
53. VALDAUF, Jiří. Oleje pro tažení plechů. *Tribotechnické informace*. Praha: TES, 2011, roč. 2011, č. 1, s. 13-14. ISSN 1212-0081.
54. WILLIAMS, J. A. *Engineeringtribology*. 1st ed. New York: Oxford University Press Inc., 1994, 488 s. ISBN 0-19-856503-8.
55. Základy o olejích. CASTROL LIMITED. *Castrol česká republika* [online]. 1999-2013 [cit. 2013-03-04]. Dostupné z:  
<http://www.castrol.com/castrol/sectiongenericarticle.do?categoryId=9011984&contentId=7023153>

## Seznam použitých symbolů

$c$	[-]	koeficient pro výpočet tažné síly
$D_0$	[mm]	průměr přístřihu plechu
$D_1$	[mm]	okamžitý průměr výtažku
$d$	[mm]	průměr výtažku
$d_i$	[mm]	průměr výtažku v jednotlivých operacích
$d_s$	[mm]	střední průměr výtažku
$d_{\text{šroub}}$	[mm]	průměr šroubu
$e$	[-]	Eulerovo číslo
$F_f$	[N]	třecí síla
$F_n$	[N]	zatěžující síla
$F_o$	[N]	síla na ohyb
$F_p$	[N]	brzdící síla
$F_{\text{př}}$	[N]	přidržovací síla
$F_{\text{přetržení}}$	[N]	síla na utržení dna výtažku
$F_t$	[N]	tažná síla
$h_{F_{\text{max}}}$	[mm]	kritická hloubka tažníku
$h_m$	[mm]	tloušťka vrstvy maziva
$K$	[-]	převrácená hodnota součinitele tažení
$k$	[-]	zmenšující koeficient
$k_m$	[-]	součinitel utahovacího momentu
$l_r$	[mm]	vztažná délka
$M$	[Nm]	utahovací moment
$m_c$	[-]	celkový součinitel tažení
$m_i$	[-]	součinitel tažení
$m'$	[-]	střední součinitel tažení
$n$	[-]	počet tažných operací
$p$	[MPa]	tlak
$p_p$	[MPa]	měrný tlak přidržovače
$p_s$	[MPa]	střední tlak
$R$	[mm]	rádius
$R_a$	[μm]	průměrná aritmetická odchylka
$R_m$	[MPa]	mez pevnosti v tahu
$R_q$	[μm]	střední kvadratická odchylka
$R_z$	[μm]	největší výška profilu
$R_{te}$	[mm]	zaoblení tažnice
$R_{tu}$	[mm]	zaoblení tažníku
$S$	[mm <sup>2</sup> ]	plocha výtažku
$S_z$	[mm <sup>2</sup> ]	velikost zkušební plochy
$S_m$	[mm <sup>2</sup> ]	styčná plocha třecích povrchů
$S_{\text{př}}$	[mm <sup>2</sup> ]	plocha přidržovače
$s_{\text{max}}$	[mm]	maximální tloušťka plechu
$s_0$	[mm]	tloušťka plechu
$v$	[m/s]	lineární rychlost pohybu třecích povrchů
$v_{\text{max}}$	[m/s]	maximální rychlost tažení
$Z$	[mm]	tažná mezera
$Z_z$	[-]	materiálová konstanta

$\alpha$	[°]	úhel opásání
$\beta$	[°]	úhel zkosení tažníku
$\eta$	[N·s·m <sup>-2</sup> ]	dynamická viskozita
$\mu$	[-]	součinitel tření
$\xi$	[-]	Lodeho součinitel
$\pi$	[-]	Ludolfovo číslo
$\sigma_1$	[MPa]	radiální tahové napětí
$\sigma_2$	[MPa]	napětí ve směru tloušťky plechu
$\sigma_3$	[MPa]	schematické tangenciální tlakové napětí
$\sigma_d$	[MPa]	deformační odpor materiálu
$\sigma_o$	[MPa]	napětí v důsledku ohybu na tažné hraně
$\sigma_{ps}$	[MPa]	střední hodnota přirozeného přetvárného odporu
$\sigma_{tř}$	[MPa]	napětí vyvolané třením od přidržovače
$\varphi_1$	[-]	deformace v radiálním směru
$\varphi_2$	[-]	deformace tloušťky stěny (normálová)
$\varphi_3$	[-]	deformace v tangenciálním směru

## **Seznam výkresů**

<b>Výkres sestavy přípravku</b>	DP-5O61-2013-00
<b>Výkres vrchní desky</b>	DP-5O61-2013-01
<b>Výkres horní čelisti</b>	DP-5O61-2013-02
<b>Výkres spodní čelisti</b>	DP-5O61-2013-03